

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**Padrões de alteração hidrotermal/mineralização no sector W do Jazigo de  
sulfuretos maciços polimetálicos do Gavião – Aljustrel**

Rita Sofia Rodrigues dos Santos

**Mestrado em Geologia Económica**

Relatório de Estágio orientado por:

António Manuel Nunes Mateus



## Agradecimentos

A concretização do presente trabalho não teria sido possível não fossem os esforços e contributos de um conjunto de entidades e particulares, a quem um merecido agradecimento é mais que devido.

Primeiramente, gostaria de agradecer à Empresa de Desenvolvimento Mineiro pela proposta do tema, sem a qual não teria tido esta oportunidade, permitindo-me crescer a nível pessoal, mas principalmente profissional. Importa agradecer ainda os esforços feitos no sentido de financiar o projecto a vários níveis; seja na aquisição de análises em laboratórios acreditados externos, seja através da disponibilização de *softwares* ou, mais importante, na transferência de conhecimento. Neste sentido, gostaria de agradecer a nível pessoal a quem mais importa – o (meu co-orientador) geólogo Pedro Santos – por todo apoio, palavras amigas e auxílio nas mais variadas tarefas durante esta longa etapa, mas principalmente por demonstrar resiliência em todos os momentos, mesmo quando remando contra a maré. Uma palavra de reconhecimento ainda à geóloga Daniela Lobarinhas por disponibilizar o seu tempo e conhecimento para nos ajudar, em particular durante a modelação.

Em segundo lugar, mas não menos importante, gostaria de agradecer à Almina – Minas do Alentejo s.a., parceira deste projecto, não apenas por ter aceite este tema, mas principalmente pela disponibilização dos materiais que serviram de base a este trabalho, mas também de infraestruturas (quer de trabalho, quer de alojamento). Um especial agradecimento ao geólogo João Gonçalves, sem quem tal não seria possível. Um obrigadecimento ainda pela oportunidade de nos dar a conhecer o fundo de mina, e por me ter deixado encher a carrinha com amostras de 10 kg (e, em vários momentos, por ter carregado algumas delas). Importa agradecer ainda à engenheira geóloga Cristina Pereira pelo esforço em gerir e adaptar o normal funcionamento da caroteca durante a nossa estadia, muitas vezes motivo de entropia.

Gostaria de agradecer igualmente à empresa ESAN pela disponibilização da fluorescência de raios-X portátil, permitindo a obtenção de um banco de dados muito importante, que serviu de base a este projecto.

Com especial importância, gostaria de agradecer ao meu orientador, prof. Dr. António Mateus, pelo apoio e acompanhamento em todas as etapas deste trabalho. Embora nem sempre fácil, guardo com o maior respeito e admiração, a determinação em prezar-se sempre pelo melhor das suas capacidades. Gostaria ainda de agradecer pelo esforço interminável demonstrado na luta pelos direitos dos estudantes e pela disponibilidade em ajudar-me a cumprir os prazos nesta recta final. Sem o seu contributo, nada disto seria possível.

Um agradecimento muito especial ao prof. Dr. Jorge Figueiras pelo apoio prestado durante muitas etapas do projecto, em particular pela paciência em explicar-me pela enésima vez aquilo que não percebi nem à primeira, nem à quinta. Obrigada também por fazer valer os direitos dos estudantes contra os tiranos.

Gostaria ainda de agradecer à Sofia Rodrigues e ao Dr. Pedro Rodrigues, pela produção das lâminas e pela aquisição de dados de química mineral e de liogeoquímica, respectivamente. Obrigada ainda à Cytia Mourão que, mesmo estando de saída, sempre se preocupou com não deixar ninguém sem material de trabalho.

Um agradecimento especial aos membros do júri, prof. Dr. Jorge Relvas e Dr<sup>a</sup>. Maria João Batista pela interessante discussão do trabalho e pelas sugestões de correcção no sentido de o melhorar. Um agradecimento especial ao prof. Dr. Jorge Relvas pelo apoio, motivação e palavras amigas, em particular na etapa final de produção do relatório.

Ao meu colega João Santos, obrigada pelo apoio, em particular durante a reclassificação de sondagens na caroteca, pela companhia e, claro, pelas boleias!

Aos carotecos geólogos e não geólogos – Diogo, Ivo, Martim, Axel, Bruno, Filipe e César – obrigada pelas boleias, pela companhia e risada, pela ajuda em toda e mais alguma situação, e em especial por tornarem a caroteca um lugar aprazível; apesar do pó, do calor, dos capacetes, das molhas acidentais comuns, do treino de braços a transportar dezenas de caixas de sondagem e cavaletes...A vossa companhia tornou o quotidiano alentejano uma memória a preservar.

Às várias gerações de GEFCOs, obrigada por todos os momentos que passámos juntos; não se esqueçam que agora estamos em vias de extinção – preservem-se.

Não posso deixar de agradecer a um conjunto de pessoas que, de longe ou de perto, sempre fizeram valer o seu apoio.

Aos meus pais, um agradecimento muito especial pelo apoio, e por me inculcaram desde cedo a prezar-me sempre por fazer o meu melhor em todas as situações; a vocês devo muitas das que considero serem as minhas melhores qualidades.

Obrigada às minhas amigas Baba e Nhoqui; prometo compensar-vos os dates dentro em breve.

Gostaria de agradecer aos meus queridos amigos, Inês, Samuel e Rodrigo, por todos os momentos de amizade, férias, viagens, jantares, cervejas, cafés, zoom's, e parvoíce em geral... Obrigada por me aturarem quando estou chateada com a vida, e por arranjarem sempre novas formas de me fazer rir.

Um agradecimento sentido a um pequeno grupo de pessoas que tanto admiro e que, à sua maneira muito particular, partilharam comigo os bons momentos e me apoiaram nos menos bons; Ana, Filipa, André e Maria, nada me faria mais feliz do que ver-vos conseguir tudo aquilo que mais ambicionam e partilhar convosco o vosso sucesso. Uma breve nota aos faixistas, André e Filipa; obrigada por toda a ajuda e pelas discussões sempre produtivas. André, obrigada por todo apoio nesta recta final (e não só), mereces um lugar no céu; se – para tua infelicidade – eu lá chegar primeiro, guardo-te um lugar.

Por último – e de longe o mais importante – quero agradecer ao Diogo Ribeiro: Didz, nada do que possa aqui ser escrito vai acrescentar ao que já é dito todos os dias; nem tão pouco consigo, em três ou quatro linhas, agradecer-te convenientemente. Ainda assim, obrigada pela força, pela confiança, pela motivação, pelo carinho e pela amizade constantes. Mesmo a um oceano de distância consegues ser a pessoa mais presente no meu dia. Eu não conheço muitas pessoas que valham verdadeiramente a pena, e certamente não conheço nenhuma como tu.



## Resumo

A Faixa Piritosa Ibérica, no extremo SW do orógeno Varisco, hospeda uma importante província de sulfuretos maciços, cuja génese encontra-se essencialmente confinada ao CVS.

Este trabalho teve como objectivo caracterizar a alteração hidrotermal e a mineralização hospedada nas unidades metavulcânicas e metassedimentares do CVS no sector W de Gavião (Aljustrel).

O estudo detalhado de quatro sondagens, dirigido à caracterização macroscópica e geoquímica das fácies metavulcânicas, permitiu identificar uma quimio-estratigrafia que, aliada à análise estrutural, conduziu à reconstituição interpretativa de secções geológicas.

Os episódios mineralizantes são marcados pela associação quartzo + clorite ± sericite ± carbonatos ± sulfuretos ± rútilo, e albitização. Os minérios correspondem a massas “Zn-Pb-Cu *Type*”, essencialmente piríticas, com quantidades acessórias de esfalerite e galena, e rara calcopirite e arsenopirite.

Durante a deformação/metamorfismo, criam-se condições adequadas à deposição da associação carbonatos + calcopirite + tetraedrite + bournonite ± galena ± esfalerite ± pirite ± arsenopirite ± quartzo ± clorite ± fluorite. Dados geoquímicos sugerem haver importante contributo metalífero em metais base, conduzindo a zonas enriquecidas em Cu, Zn e Pb, e em elementos potencialmente valorizantes (*e.g.* Se, Bi, Ag) e penalizantes (*e.g.* As, Sb, Hg). Nas rochas encaixantes, regista-se também synchysite + barite e, no caso ainda dos metapelitos, fases de Sn, Bi, Co e Ni. Dados litogeoquímicos sugerem que, no conjunto das transformações sin- e pós-metalogenéticas sofridas por estas rochas, tenham ocorrido ganhos importantes em SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, e S, menores em Mn, Zn, As, Cu e Pb, e perdas em Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O.

Este contributo tardio poderá resultar de remobilização tectónica após refinamento metalífero, durante a evolução do sistema VHMS, e/ou de contribuições externas, envolvendo fluidos magmático-hidrotermais associados a intrusões intermédias-máficas e/ou fluidos aquocarbónicos ricos em F, resultantes da interacção de fluidos magmático-derivados com outros capazes de lixiviar a sequência encaixante e unidades subjacentes.

**Palavras-chave:** Aljustrel, Gavião, alteração hidrotermal, sulfuretos maciços polimetálicos, remobilização tectónica

## Abstract

The Iberian Pyrite Belt, in the SW Iberian Variscides, hosts a world-class massive sulphide province. The development of sulphide ores is mostly confined to VSC. This research focused on the W sector of the Gavião deposit (Aljustrel) and its hydrothermal and mineralizing patterns recorded by VSC metavolcanic and metasedimentary units.

Detailed studies on four drill-cores, aiming at macroscopic and geochemical characterization of metavolcanic facies, led to the identification of a chemical-stratigraphy that, together with structural analysis, allowed interpretative reconstruction of geological sections.

Hydrothermal and mineralizing episodes are documented by the mineral assemblage quartz + chlorite ± sericite ± carbonates ± sulphides ± rutile, and albitization. The studied "Zn-Pb-Cu" ores are mainly composed of pyrite, including accessory sphalerite and galena, and rare chalcopyrite and arsenopyrite.

During deformation concurrent of regional metamorphism, suitable conditions for the deposition of carbonates + chalcopyrite + tetrahedrite + bournonite ± galena ± sphalerite ± pyrite ± arsenopyrite ± quartz ± chlorite ± fluorite were achieved. Geochemical data indicate that this mineralizing episode provided significant increasing of base metals concentration, responsible for Cu-rich and higher Zn-Pb-rich ores, and in potentially valuing (*e.g.* Se, Bi, Ag) and penalizing (*e.g.* As, Sb, Hg) metals.

In host rocks, synchysite and barite are also present, along with Sn, Bi, Co, and Ni bearing sulphides and sulfosalts in metapelites. Lithogeochemical data suggest that superposition of syn- to post-metallogenic modifications suffered by host rocks is characterized by significant gains in SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and S, along with Mn, Zn, As, Cu, and Pb, whereas Na<sub>2</sub>O and K<sub>2</sub>O tend to be lost.

At Gavião, such contribution may have resulted from tectonic remobilization of (i) previous metal refinement, during VHMS evolution, and/or (ii) external contributions, involving hydrothermal-magmatic fluids related to intermediate-mafic intrusions, and/or F-rich aquocarbonic fluids resulting from host sequences and basement leaching.

**Key-words:** Aljustrel, Gavião, hidrothermal alteration, polymetallic massive sulfides, tectonic remobilization

## Índice

<b>Agradecimentos</b> .....	I
<b>Resumo</b> .....	III
<b>Abstract</b> .....	IV
<b>Lista de figuras</b> .....	VIII
<b>Lista de tabelas</b> .....	XV
<b>Lista de abreviaturas</b> .....	XX
<b>I. Introdução</b> .....	1
<b>II. Enquadramento</b> .....	2
II.1. Regional.....	2
II.2. Aljustrel.....	3
II.2.1. Gavião.....	5
<b>III. Metodologias</b> .....	6
III.1. Selecção de sondagens.....	6
III.2. Reclassificação de sondagens.....	7
III.3. Amostragem.....	7
III.3.1. Amostragem de testemunhos.....	7
III.3.2. Amostragem geoquímica portátil.....	7
III.4. Produção de secções geológicas interpretativas.....	9
III.5. Selecção de amostras para estudos de mineralogia e geoquímica.....	9
III.6. Processamento laboratorial de amostras.....	9
III.7. Petrografia.....	10
III.8. Química mineral.....	10
III.9. Litogeoquímica.....	10
<b>IV. Produção de secções geológicas interpretativas</b> .....	11
IV.1. Tratamento de dados de FRX-P.....	11
IV.2. Conjugação de informação macroscópica e geoquímica.....	11
IV.2.1. Nomenclatura química.....	12
IV.2.2. Descrição de sondagens.....	14
IV.2.2.1. Preâmbulo.....	14
IV.2.2.2. Estratigrafia.....	14
IV.2.2.3. Deformação.....	16
IV.2.2.4. Alteração.....	16
IV.2.2.5. Mineralização.....	20
<b>V. Petrografia</b> .....	27
V.1. Metavulcânicas félsicas.....	27
V.1.1. Fácies clásticas.....	27
V.1.2. Fácies coerentes.....	30
V.2. Clorititos.....	33
V.3. Intrusivas.....	35
V.4. Metavulcanoclásticas intermédias a máficas.....	37
V.5. Metapelitos.....	37
V.6. Quimiogénicas.....	40
V.6.1. Jaspe.....	40
V.6.2. Chertes e/ou precipitados hidrotermais.....	40
V.7. Minérios.....	42
<b>VI. Química mineral</b> .....	45

VI.1. Grupo dos silicatos.....	45
VI.1.1. Feldspatos.....	46
VI.1.2. Filossilicatos.....	47
VI.1.2.1. Micas potássicas dioctaédricas.....	47
VI.1.2.2. Clorites.....	48
VI.1.2.3. Stilpnomelano.....	52
VI.1.3. Epidotos.....	52
VI.1.4. Silicato de Fe.....	53
VI.2. Grupo dos carbonatos.....	53
VI.3. Grupo dos fosfatos.....	55
VI.3.1. Apatite.....	55
VI.4. Grupo dos sulfatos.....	56
VI.5. Grupo dos óxidos.....	56
VI.5.1. Fases de Fe e/ou Ti.....	56
VI.5.2. Cassiterite.....	58
VI.6. Grupo dos sulfuretos e sulfossais.....	58
VI.6.1. Pirite.....	59
VI.6.2. Esfalerite.....	59
VI.6.3. Galena.....	60
VI.6.4. Calcopirite.....	60
VI.6.5. Arsenopirite.....	60
VI.6.6. Tetraedrite.....	61
VI.6.7. Bournonite.....	61
VI.6.8. Cobaltite-Gersdorffite.....	63
VI.6.9. Outras fases.....	63
<b>VII. Litogeoquímica de rocha total.....</b>	<b>64</b>
VII.1. Rochas encaixantes.....	64
VI.1.1. Comparação de dados de geoquímica multi-elementar com FRX-P e FRX.....	64
VI.1.2. Índices de alteração.....	64
VI.1.3. Balanços de massa.....	65
VI.1.3.1. Teste à imobilidade dos elementos.....	66
VI.1.3.2. Percursos e cálculo de balanços de massa.....	66
VII.2. Minérios.....	68
VII.2.1. Caracterização de elementos maiores, menores e traço.....	68
VII.2.2. Tipos de minério.....	68
VII.2.3. Balanços de massa.....	70
<b>VIII. Discussão.....</b>	<b>71</b>
VIII.1. Litologias encaixantes.....	71
VIII.2. Alteração hidrotermal mineralizante.....	72
VIII.3. Minérios maciços de sulfuretos.....	75
VIII.4. Modificação resultantes da deformação síncrona do metamorfismo.....	76
VIII.5. Implicações para o modelo genético de Gavião.....	77
VIII.6. Considerações finais.....	79
<b>IX. Conclusões.....</b>	<b>80</b>
<b>X. Referências bibliográficas.....</b>	<b>81</b>
<b>XI. Anexos.....</b>	<b>87</b>
XI.1. Sondagens.....	87
XI.1.1. Resumo descritivo.....	87

XI.1.1.1. GS-18003.....	87
XI.1.1.2. GS-18004.....	88
XI.1.1.3. GS-18005A.....	89
XI.1.1.4. GS-19001.....	90
XI.1.2. Localização e informação espacial.....	92
XI.1.3. Amostragem.....	92
XI.2. Química mineral.....	95
XI.2.1. Caracterização de fases primárias.....	95
XI.2.1.1. Zircão.....	95
XI.2.1.2. Titanite.....	96
XI.2.2. Condições de análise.....	97
XI.2.3. Limites de detecção.....	107
XI.2.4. Estatística descritiva e análises representativas.....	110
XI.3 Litogeoquímica de rocha total.....	148
XI.3.1. Condições de análise e limite de detecção.....	148
XI.3.2. Teste à imobilidade (encaixantes).....	151
XI.3.3. Comparação FRX-P e FRX.....	153
XI.3.4. Teste à imobilidade (minérios).....	167

## Lista de figuras

<b>Figura II.1</b> – Geologia simplificada da Zona Sul Portuguesa. Adaptado de Luz <i>et al.</i> (2019), modificado de Oliveira (1992), Barriga <i>et al.</i> (1997), Leistel <i>et al.</i> (1998), Carvalho <i>et al.</i> (1999), Matos <i>et al.</i> (2000, 2006) e Tornos (2006).....	2
<b>Figura II.2</b> – Geologia simplificada da região de Aljustrel. O polígono assinalado representa a região do Gavião. Note-se que, das duas massas (NE e SW) do jazigo, apenas a massa SW se encontra representada. Retirado de Gomes & Rosa (2014).....	4
<b>Figura III.1</b> – Localização das sondagens (projectadas à superfície) na área de prospecção e pesquisa do Gavião correspondente à Concessão C14 Gavião nº6. As massas NE e SW que constituem o jazigo do Gavião, assim como os principais condutores geofísicos, encontram-se igualmente projectados. Os perfis geológicos (P0 a P13) referem-se à primeira campanha de sondagens realizada na área do Gavião pela Sociedade Mineira de Santiago (SMS).....	6
<b>Figura IV.1</b> – Projectão das razões Zr/TiO <sub>2</sub> vs. Nb/Y fazendo uso das leituras obtidas com FXR-P para as fácies metavulcânicas <i>s.l.</i> e intrusivas. Adaptado de Winchester & Floyd (1977).....	12
<b>Figura IV.2</b> – (A), (B), (C) e (D) Projectões dos dados obtidos com FRX-P no gráfico (Zr/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )10000 vs. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub> relativos às sondagens, respectivamente, GS-18003, GS-18004, GS-18005A e GS-19001. As envolventes assinaladas representam os <i>clusters</i> dos 5 principais tipos de rochas identificados na região de Feitais por Barrett <i>et al.</i> (2008) no âmbito dos trabalhos desenvolvidos no período entre 2008 e 2010, e que são hoje pertença da Almina. (E) corresponde à projectão dos dados obtidos com FRX-P, para a totalidade das análises realizadas nas quatro sondagens, no gráfico Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> vs. TiO <sub>2</sub> .....	13
<b>Figura IV.3</b> – (a) e (b) Dobramento de pequena amplitude afectando, respectivamente, nível metavulcânico mineralizado e preenchimento hidrotermal. (c) Crenulação (S <sub>n+1</sub> ) sobreposta a S <sub>n</sub> . (d) Exemplo de zona de falha: forte cominuição do material rochoso, numerosos contactos tectónicos entre diferentes fácies, alguns apresentando preenchimentos minerais de natureza diversa. (e) Exemplo de falha: descontinuidades planares que rejogam preenchimentos de natureza diversa, cominuição do material rochoso e localmente estiramento de elementos da rocha.....	17
<b>Figura IV.4</b> – (a) Banda de silicificação afectando fácies metavulcanoclástica, com consequente obliteração da textura da rocha. (b) Preenchimento hidrotermal de Qz + Ser + sulfuretos. (c) Frente de cloritização com halo de sericitização associado afectando fácies metapelítica do tipo MBc. (d) Prenchimentos hidrotermais de Chl + Qz + sulfuretos. (e) Veio mineralizado em fácies metavulcanoclástica com alternância de bandas rítmicas marcadas por proporções distintas das componentes Ser e Chl que afectam a matriz.....	19
<b>Figura IV.5</b> – (a) e (b) Descontinuidades tardias de Cb±Qz mineralizadas em Ccp. (c), (d), (e) e (g) Intersecções de minérios maciços bandados (mais ou menos tectonizados) com alternância de bandas ricas em Py com granularidades distintas e Sp. Em (d), o minério bandado é afectado por descontinuidades tardias preenchidas por Cb. (f) Brechificação local de minério maciço por rede de fracturas preenchidas por Cb. (h) Minério bandado essencialmente pirítico, marcado por alternância de níveis com granularidades distintas de Py. (i) Minério bandado semi-maciço, essencialmente pirítico.....	21
<b>Figura IV.6</b> – Legenda referente às colunas “quimiostratigráficas” presentes nas Figuras IV.7 a IV.10.....	22

**Figura IV.7** – Secção geológica interpretativa (SGI) e respectiva coluna “químio-estratigráfica” referente à sondagem GS-18003. As estrelas assinaladas marcam a posição das amostras seleccionadas para estudos subsequentes. **(a)** Unidade intrusiva afectada por alteração sericítico-carbonatada (tom bege), cloritização e epidotização. **(b)** e **(c)** Veios mineralizados de Py + Sp em fácies metavulcanoclástica com evidentes halos de silicificação. **(d1)** a **(d5)** Exemplos de algumas texturas observadas em fácies metavulcanoclástica totalmente cloritizada (“cloritito”). **(e)** Zonas marcadas por alteração que confere tonalidade vermelha às fácies metavulcanoclásticas.....23

**Figura IV.8** – Secção geológica interpretativa (SGI) e respectiva coluna “químio-estratigráfica” referente à sondagem GS-18004. As estrelas assinaladas marcam a posição das amostras seleccionadas para estudos subsequentes. **(a)** Fácies metavulcanoclástica com megacristais de grande dimensão. **(b)** Veios hidrotermais de Chl + Qz + Ser + Py, com contactos mais ou menos difusos. **(c)** Fácies “química” tipo RI fortemente mineralizada (Py essencialmente). **(d)** Fácies “química” tipo RI truncada por abundantes veios ante-deformação. **(e)** Veios de Py em metavulcanoclástica variavelmente afectada por sericitização e silicificação. **(f)** Fácies metapelítica rica em Py + Ccp. **(g)** Veios dobrados (ante-deformação) de Qz + Fsp + Chl + Ser em metavulcanoclástica.....24

**Figura IV.9** – Secção geológica interpretativa (SGI) e respectiva coluna “químio-estratigráfica” referente à sondagem GS-18005A. As estrelas assinaladas marcam a posição das amostras seleccionadas para estudos subsequentes. **(a1)** e **(a2)** Passagens de cherte *s.l.* preservado no seio de unidades intrusivas, fortemente afectado por alteração que conduz à deposição de fases de natureza indeterminada. **(b)** Unidade intrusiva truncada por veios de Cb + Chl. **(c)** Unidade intrusiva com mineralização controlada por fracturas, preenchendo vesículas e/ou substituindo possíveis fenocristais. **(d)** Fácies metavulcanoclástica finamente impregnada de sulfuretos (essencialmente Py). **(e)** Relíquias de fácies metapelítica em domínios de mineralização semi-maciça. **(f)** Fácies metavulcanoclástica deformada, finamente impregnada de sulfuretos. **(g)** Fácies metavulcanoclástica com abundantes recristalizações de Py, e afectada por alteração que confere tonalidade avermelhada, cortada por descontinuidades tardias preenchidas por Cb.....25

**Figura IV.10** – Secção geológica interpretativa (SGI) e respectiva coluna “químio-estratigráfica” referente à sondagem GS-19001. As estrelas assinaladas marcam a posição das amostras seleccionadas para estudos subsequentes. **(a)** Passagens de material chértico *s.l.* (ou preenchimento hidrotermal) encaixado em unidade fortemente alterada. **(b)** Fácies metavulcanoclástica afectada por processos de sericitização e silicificação. **(c)** Unidade intrusiva cortada por abundantes veios e afectada por alteração sericítico-carbonatada (tom bege). **(d)** Unidade intrusiva revelando forte silicificação e alteração sericítico-carbonatada (tom bege), cortada por veio de Cb mineralizado. **(e)** Fácies metavulcanoclástica mineralizada afectada por importante corredor tectónico. **(f)** Fácies metavulcanoclástica finamente impregnada de sulfuretos, fortemente estirada, associada ao corredor tectónico que marca o fim da sondagem.....26

**Figura V.1** – **(a)** Fotomicrografia em LTDP de mineraloclasto de Pl algo sericitizado no seio de matriz francamente cloritizada e hematitizada. **(b)** Fotomicrografia em LTDP de mineraloclasto de Pl parcialmente substituído por Ep com franjas de Pl no seio de matriz quartzo-feldspática. **(c)** Fotomicrografia em LTDP de mineraloclastos de Pl parcialmente sericitizados no seio de matriz quartzo-feldspática contendo filossilicatos. **(d)** Fotomicrografia em LTDP de veio de Qz + Chl + Ser + Py orientado segundo  $S_1$  e crenulado por  $S_2$ . **(e1)** e **(e2)** Fotomicrografia em LTSP de estruturas de Ep + Chl + Cb + óxidos de (Fe-)Ti estiradas segundo  $S_1$ , e respectiva EI. **(f)** EI de agregados de Psb + Mnz + Ap + Mgt. **(g)** EI de Hem muito fina desenvolvendo alinhamentos consistentes com  $S_1$  e grãos de Mgt no seio da matriz clástica. Deposição tardia de Ccp associada a Cb. **(h)** EI de grãos de Mgt com núcleos de Psb e inclusões de Ap. **(i)** EI de grão de Mgt fracturado, com deposição tardia de Syn + Chl + Cb. **(j)**

EI de cristal de Mgt fracturado, com deposição tardia de Cb + Brt. **(k)** EI de deposição de Brt + Fl. **(l)** EI de deposição tardia de Syn. **(m)** Fotomicrografia em LTDP de fendas de Cb + Py. **(n1)** e **(n2)** Fotomicrografia em LRSP de cristal de Py fracturado com sombras de pressão de Qz e com inclusões de Mgt e respectiva EI onde se observam as fracturas preenchidas por Cb. **(o)** Fotomicrografia em LTDP de cristal de Py com sobras de pressão de Qz quase totalmente substituído por Cb. **(p)** Fotomicrografia em LTDP de mineraloclastos de Fsp (?) fortemente substituído por Ep + Cb + óxidos de (Fe-)Ti com sombras de pressão de Chl + Ser cortado por veio de Qz tardio. **(q1)** e **(q2)** EI e respectiva fotomicrografia em LTDP de sombras de pressão de Chl e Msc (Ser recristalizada?) com Sp associada a mineraloclasto de Fsp parcialmente silicificado. **(r1)** e **(r2)** Fotomicrografia em LTDP de veio de Qz + Chl + Py + Gn + Sp, e respectiva EI. **(s1)** e **(s2)** Fotomicrografia em LTDP de alinhamentos de Cb + Chl com mineralização de Gn associada.....29

**Figura V.2 – (a1) (a2)** Fotomicrografia em LTDP de fenocristal de Pl com inclusões de Mnz, Ap e Zr, e respectiva EI. **(b)** Fotomicrografia em LTDP de fenocristal de K-Fsp variavelmente sericitizado. **(c)** Fotomicrografia em LTDP de fenocristais de Pl maclados. **(d)** Fotomicrografia em LTSP de estruturas de Ep + Cb + Chl + óxidos de (Fe-)Ti. **(e)** Fotomicrografia em LTDP de veio de Qz+Fsp. **(f)** Fotomicrografia em LTDP de veio de Qz + Chl ± Ser ± Py. **(g)** Fotomicrografia em LTDP de fendas tardias de Chl. **(h)** Fotomicrografia em LTDP de deposição de Ser tardia aproveitando estruturas pré-existent. **(i1)** e **(i2)** Fotomicrografia em LTSP de veios de Cb + Chl + Sp, e respectiva EI e CM para os elementos Mg, Al, Zn, Fe e Ca. **(j1)** e **(j2)** Fotomicrografia em LTDP e veio de Cb com mineralização de Gn + Sp associada, tardiamente reaproveitado com deposição de Cal.....32

**Figura V.3 – (a1) e (a2)** Fotomicrografia em LTDP de bandas de Chl paralelas a S<sub>1</sub> e abertura de fendas escalonadas de Kln que cortam Cb pré-depositado, e respectiva EI e CM para os elementos Si, Fe, Ca, Al e Mg. **(b)** Fotomicrografia em LTDP de estruturas lenticulares de Cb e cristais de Py, ambas com sombras de pressão de Chl em matriz do “cloritito”. **(c)** Fotomicrografia em LTDP de deposição tardia de Chl em veios que cortam a estrutura pré-existente. **(d)** Fotomicrografia em LTDP de deposição de Cb + Ccp. **(e)** EI de Ccp com inclusões de Stn. **(f)** Fotomicrografia em LTDP de veios de Cb + Qz tardio. **(g)** EI e respectivos CM para os elementos Fe, Ca e Mg de cristais de Py com inclusões de Rtl. **(h)** Fotomicrografia em LTDP de vénulas de Cb com consequente infiltração ao longo de S<sub>1</sub>. **(i)** EI e respectivos CM para os elementos Mg, Al, Ca e Fe de vénulas de Cb com consequente infiltração ao longo de S<sub>1</sub>.....34

**Figura V.4 – (a1) e (a2)** Fotomicrografia em LTDP de fenocristal de Pl fracturado em matriz alterada por Chl + Cb + Ep *s.l.*, e respectiva EI onde se observa a presença de Cob associada a Chl. **(b)** Fotomicrografia em LTDP de matriz fortemente alterada por Chl + Cb + Ep *s.l.*. **(c)** Fotomicrografia em LTDP de Chl + Cb + Ep *s.l.* em veios. **(d)** Fotomicrografia de Ep *s.l.* + Chl em veios cortados por estruturas tardias de Qz + Chl + Py. **(e1)** e **(e2)** Fotomicrografias em LTDP e LRSP da associação tardia Qz + Chl + Py + Ccp. **(f)** Fotomicrografia em LTDP de Ep + Chl + Cb em veio. **(g1)** e **(g2)** Fotomicrografia em LTDP de matriz dos litoclastos rica em Ttn, cimentados por Qz + Ep + Ser, e respectiva EI onde se observa a presença de disseminações de Cob. **(h)**, **(i)** e **(j)** Espectros EDS para as fases de Co-Ni-S-As-Sb disseminadas pela matriz clática, preferencialmente associadas ao cimento.....36

**Figura V.5 – (a)** Fotomicrografia em LTDP de relíquias de Fsp fortemente sericitizado. **(b)** Fotomicrografia em LRSP de (hidr)óxidos de Mn(-Fe) no seio da matriz pelítica. **(c)** Fotomicrografia em LTSP de veio de Cb sub-paralelo S<sub>2</sub>. **(d)** Fotomicrografia em LTSP de veio de Cb mineralizado sub-paralelo a S<sub>2</sub> com consequente infiltração em níveis psamíticos. **(e)** Fotomicrografia em LRSP de recristalizações de Py associadas a níveis onde ocorre deposição de Cb. **(f)** Fotomicrografia em LTDP de veio de Cb mineralizado em Py + Ccp sub-paralelo a S<sub>2</sub>, com consequente infiltração ao longo de S<sub>1</sub>.



(g1), (g2) e (g3) Fotomicrografias em, respectivamente, LTSP, LTDP e LRSP de metapelitos fortemente mineralizado. (h1) e (h2) EI e respectivos CM para os elementos Si, P, Fe, Al, Ca e Mg de níveis ricos em Ap autigénica. (i1) e (i2) Fotomicrografias em LRSP de recristalização incompleta de Py com inclusões de Sp+Gn e cimentada por Ccp. (j) EI e respectivos CM para os elementos Cu e Ca de recristalizações incompletas de Py cimentadas por Ccp. (k) Fotomicrografia em LRSP de Sp + Stn + Ttr que acompanham a deposição da Ccp. (l) Fotomicrografia em LRSP de Sp + Stn que acompanham a deposição de Ccp. (m) e (n) Fotomicrografias em LRSP de recristalizações incompletas de Py (formadas a partir de grãos mais pequenos de Py hidrotermal) com inclusões de Sp + Gn cimentadas por Ccp. (o) Fotomicrografia em LRSP de Ccp ± Gn envolvendo Py, formando pseudo-caudas. (p1) e (p2) EI e respectivos CM para os elementos S, Fe, Bi e Cu de massas de Btn e sulfuretos de Pb-Bi-Cu associados à deposição de Ccp. (q1) e (q2) EI e respectivos CM para os elementos Si, Fe, S, Ca, Mg e Ce de agregados de Syn associados à deposição de Ccp.....38

**Figura V.6** – (a) Aspecto textural macroscópico do exemplar de Jsp estudado. (b1) e (b2) Fotomicrografia em LTSP da matriz em domínios de preservação de textura coloidal primária, delineada por grãos de Hem, e respectiva EI onde se observa Mgt. (c1) e (c2) Fotomicrografia em LRSP de cristal de Mgt com deposição tardia de Ccp, e respectivos CM para os elementos Si, Al, Fe e K onde se regista a presença de Msc bordejando o cristal de Mgt. (d1) e (d2) Fotomicrografias em, respectivamente, LTSP e LTDP de estruturas vacuolares preenchidas por Qz + Chl + Msc, cortadas por veio de Qz. (e) EI de estruturas vacuolares fortemente achatadas, preenchidas por Chl + Msc + Hem + Mgt + Syn. (f) Fotomicrografia em LTSP de Hem + Ap no seio das estruturas vacuolares. (g) EI de Hem + Ap no seio de estruturas vacuolares. (h) Fotomicrografia em LTSP de veio de Chl bordejado por Hem + Mgt, e respectiva EI. (j) Fotomicrografia em LTDP de matriz quártzica fortemente recristalizada com formação de Stp ao longo dos contactos intercristalinos. (k) Fotomicrografia em LTDP de halo de Py associada a veio de Chl, tardiamente com formação de Stp + Qz. (l) Fotomicrografia em LTSP de formação de Stp associada a filonetes de Qz discretos. (m) Fotomicrografia em LTDP de estruturas vacuolares preenchidas por Qz + Chl. (n1) e (n2) EI e respectivos CM para os elementos Si, K, Al e Fe de agregados grosseiros em leque de Stp associados a filonetes discretos de Sd. (o) Fotomicrografia em LRSP e respectiva EI e CM para os elementos O, S e Fe, de massa de Py em decomposição para Po e (hidr)óxidos de Fe. (p) EI (e fotomicrografia) de formação de halos de ferrossilite(?) e Sd na dependência de veios de Qz + Mgt. (q) EI de banda de decomposição de Py para (hidr)óxidos de Fe com formação de ferrossilite (?) na dependência. (r) e (s) EI de deposição de Stp + (hidr)óxidos de Fe com consequente decomposição da Py para Po.....41

**Figura V.7** – (a) Fotomicrografia em LRSP de mineralização sulfuretada maciça bandada (essencialmente Py). (b1) Fotomicrografia em LRSP de possíveis corredores tectónicos, com desenvolvimento de cristais de Apy preferencialmente orientados. (b2) EI de cristal de Apy com inclusões de fases sulfuretadas como Ccp e Sp. (c) Fotomicrografia em LRSP de estrutura colomórfica de Py preservada no seio da matriz sulfuretada (igualmente pirítica). (d) Fotomicrografia em LRSP de estruturas colomórficas de Py preservadas no seio de mineralização semi-maciça. (e) Fotomicrografia em LRSP de domínio de preservação de encaixante metapelítico no seio de mineralização sulfuretada semi-maciça. (f) EI e respectivos CM para os elementos Si, S, Fe, Mg de Py framboidal variavelmente recristalizada em domínio de preservação de encaixante metapelítico em contexto de mineralização semi-maciça. (g1) Fotomicrografia em LRSP do contacto entre nível dominado por mineralização pirítica e nível dominado por Sp + Gn em contexto de mineralização maciça bandada. (g2) EI de nível dominado por Sp + Gn onde se observam grãos de Cst alinhados. (h) EI de Py desenvolvendo texturas tipo “exsolução” no seio da massa essencialmente esfalerítica. (i) EI de texturas de recristalização da Py (formada à custa de Py de menor dimensão previamente depositada) com espaços intersticiais cimentados por Sp + Gn. (j) EI de texturas de recristalização da Py, com deposição tardia de Gn e Apy.

(k) Agregados de Py parcialmente recristalizada, cimentados por Cb + Ccp + Gn. (l) Fotomicrografia em LTDP de deposição tardia de Ccp + Sp associada a veios de Cb. (m) e (n) Fotomicrografia em LRSP de banda de degradação da Py no contacto entre veios de Cb + Ccp e mineralização sulfureta maciça. (o) EI de veio de Cb + Ttr + Gn + Py tardia, cortando S<sub>1</sub>. Esta imagem corresponde a uma ampliação da descontinuidade em (e). (p) EI de Py cortada por fracturas preenchidas pela associação tardia, Cb + Ccp + Sp + Gn. (q) EI (e fotomicrografia em LTSP) e respectivos CM para os elementos Cu, Ca, Pb e Mg de veio possante de Cb + Brn. (r) EI e respectivos CM para os elementos Fe, Cu, Zn e Sb de preenchimento de espaços intersticiais de estrutura colomórfica de Py pela associação tardia Ccp + Ttr + Sp + Gn.....44

**Figura VI.1** – Diagrama triangular Ab-An-Or, adaptado de Deer *et al.* (2008). Na legenda, *Núcleo* e *Bordo* correspondem a análises realizadas em fenocristais e mineraloclastos presentes em rochas metavulcânicas *s.l.* e intrusivas.....46

**Figura VI.2** – (a1) Carácter dioctaédrico das micas, não obstante os ligeiros desvios no sentido tri-octaédrico pontualmente apresentado por algumas análises. (a2) Expressão dos desvios fengíticos das micas devido à substituição Tschermark. (b) Projecção do vector que descreve a incorporação de Na<sup>+</sup> na posição de coordenação dodecaédrica balanceada por trocas catiónicas em coordenação tetraédrica e abertura de vazios de ocupação dodecaédricos. (c) Projecção do vector que descreve a incorporação de catiões divalentes na posição de coordenação dodecaédrica.....48

**Figura VI.3** – (a) Projecção de Si<sup>4+</sup> na posição na posição de coordenação tetraédrica vs. total de catiões divalentes na posição de coordenação octaédrica, incluindo os vectores de substituição DT (di-/tri-octaédrico) e TK (Tschermark), respectivamente  $3(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})^{\text{vi}} = 2\text{Al}^{\text{vi}} + \square^{\text{vi}}$  e  $\text{Si}^{\text{vi}} + (\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})^{\text{vi}} = \text{Al}^{\text{iv}} + \text{Al}^{\text{vi}}$ . (b) e (c) Documentam os principais mecanismos de substituição para o conjunto de clorites analisadas, expressos respectivamente através das equações (i)  $(\text{Fe}^{2+})^{\text{vi}} = (\text{Mg} + \text{Mn}^{2+})^{\text{vi}}$  e (ii)  $\text{Si}^{\text{iv}} + (\text{R}^{2+})^{\text{vi}} = \text{Al}^{\text{iv}} + \text{Al}^{\text{vi}}$  e  $3(\text{R}^{2+})^{\text{vi}} = 2(\text{R}^{3+})^{\text{vi}} + \square^{\text{vi}}$  onde R<sup>2+</sup> corresponde ao total de catiões divalentes e R<sup>3+</sup> ao total de catiões trivalentes (maioritariamente Al). (d1) e (d2) Projecção Zn vs. Mn, respectivamente, para a totalidade das análises e para as análises referentes a exemplares de minério. Note-se que as envolventes assinaladas em (d2) apenas pretendem ilustrar os *clusters* maiores, não obstante a presença de pontos que se desviam das tendências gerais. Ainda em (d2), as barras assinaladas (1 a 3) pretendem esquematizar a possível relação entre o conteúdo em Mn e o contexto no qual ocorrem. (e1) e (e2) Projecção Mg vs. Mn, respectivamente, para a totalidade das análises e para as realizadas em exemplares de minério. As barras assinaladas em ambos os gráficos pretendem comparar os espectros de valores de Mg que caracterizam Chl provenientes de exemplares de minério e investigar a possibilidade de transposição de tendências para Chl representativas de diferentes contextos litológicos.....49

**Figura VI.4** – Diagramas *boxplot* representando a dispersão dos valores de temperatura obtidos através do modelo proposto por Lanari *et al.* (2014) para os diferentes grupos de Chl definidos.....51

**Figura VI.5** – (a) Projecção do vector que traduz a incorporação de Zn<sup>2+</sup> em posição de coordenação octaédrica. (b) Projecção Al<sup>3+</sup> vs. Zn<sup>3+</sup>, evidenciando a incorporação de Zn em algumas análises.....52

**Figura VI.6** – (a1) Projecção da totalidade de análises de Cb duplos e simples, de acordo com os diferentes grupos estabelecidos, no diagrama ternário FeCO<sub>3</sub>-CaCO<sub>3</sub>-MgCO<sub>3</sub>. Os campos representam tendências gerais. (a2) Projecção das análises referentes ao grupo eII no diagrama Fe-10Mn-Mg em *apuf*. (b) EI de Cb referente ao grupo eII e respectivos CM para os elementos Fe e Mg.....54

**Figura VI.7** – Projecção ETR+Y vs. Ca<sup>2+</sup> para a totalidade das amostras referentes a diferentes fácies. Os campos assinalados pretendem ilustrar diferentes grupos.....55

<b>Figura VI.8</b> – (a) Projecção $R^{2+}$ vs. Ca, ilustrando as substituições entre cátions divalentes e o Ca. (b) Projecção do vector conjugado que traduz a totalidade das substituições ao nível do Ca, por cátions mono, di e trivalentes. As envolventes assinaladas pretendem ilustrar tendências gerais.....	56
<b>Figura VI.9</b> – (a) Projecção da totalidade das análises de (hidr)óxidos de Fe e/ou Ti no diagrama triangular FeO-TiO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (adaptado de Butler 1992, 2004). (b) Projecção Nb + Ta vs. Ti referente a análises de Rtl. As envolventes e campos assinalados pretendem colocar em evidência tendências gerais com base nos conteúdos em Nb + Ta e Ti para diferentes contextos. (c) Projecção das análises de Rtl (em <i>apuf</i> ) no diagrama triangular 10(Nb+Ta) – Ti – 10(Sn+W), demonstrando a separação clara entre os diferentes grupos definidos em (b).....	57
<b>Figura VI.10</b> – (a) EI de cristal de Cst associado aos níveis ricos em Sp ± Gn nos minérios bandados. (b1) e (b2) correspondem a espectros EDS referentes, respectivamente, ao núcleo e bordo do cristal em (a).....	58
<b>Figura VI.11</b> – (a) Projecção Zn+Cu+Pb vs. Fe, registando os desvios à composição ideal marcados pela incorporação de Zn+Cu+Pb na posição ocupada pelo Fe. O campo assinalado pretende ilustrar a tendência geral dos desvios relativos a eI. (b) EI de Py colomórfica em contexto de minério com preservação de encaixante metapelítico (acima), registando, no bordo, enriquecimentos em As contemporâneos do evento mineralizante tardio (abaixo). (c) Projecção Zn vs. Fe para Sp de diferentes intersecções de minério, no sentido de demonstrar o incremento em Zn (relativamente ao Fe) associado a eII, comparativamente a eI. (d) Projecção Se vs. S, ilustrando os enriquecimentos em Se (substituindo o S) nas Gn associadas a eII, comparativamente a eI. O campo assinalado pretende ilustrar a tendência geral para as análises referentes a eII. (e) Projecção Fe vs. Cu para a totalidade das Ccp analisadas, demonstrando os enriquecimentos em Cu associados a eII, relativamente a eI. As envolventes assinaladas pretendem ilustrar tendências gerais para os grupo eI e eII. (f) Projecção Ag vs. Cu para a totalidade das tetraedrites analisadas, no sentido de apreciar os desvios no sentido da freibergite, marcados pela substituição parcial do Cu por Ag. (g) Projecção Sb vs. As, no sentido de estudar os desvios no sentido da tenantite, marcados pela substituição do Sb por As.....	62
<b>Figura VII.1</b> – Projecção dos índices CCPI (Chl-Cb-Py <i>index</i> ) vs. AI ( <i>Ishikawa alteration index</i> ) para a totalidade de fácies encaixantes. Adaptado de Large <i>et al.</i> (2001). A zona assinalada a cinzento representa o campo definido pelos autores como representativo de “ <i>diagenetic trends</i> ”, por oposição a “ <i>hydrothermal trends</i> ”.....	64
<b>Figura VII.2</b> – Projecções (As+Sb)/Sc vs. (Cu+Zn+Pb)/Sc e 5[(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MgO+MnO)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ] vs. (Cu+Zn+Pb)/Sc, com respectivos campos “Alteração Regional” e “Alteração Hidrotermal”. Adaptado de Luz <i>et al.</i> (2019).....	65
<b>Figura VII.3</b> – Balanços de massa calculados para as diferentes fácies identificadas, tomando Zr como imóvel.....	67
<b>Figura VII.4</b> – Projecção de elementos maiores, menores e traço em gráficos <i>boxplot</i> para a totalidade de amostras de minério .....	68
<b>Figura VII.5</b> – (a) Projecção dos valores de Zn, Pb e Cu para as diferentes amostras analisadas, assim como valores bibliográficos e outros presentes em relatórios cedidos pelas empresas para as massas NE e SW do Gavião, Feitais e Estação (Schermerhorn, 1975; Barriga, 1983; Barrett <i>et al.</i> , 2008; Gonçalves, 2014; Damião <i>et al.</i> , não publicado). Adaptado de Large (1992). (b) Projecção dos valores de Cu, Pb+Zn e 10(As+Sb) para as amostras analisadas.....	69
<b>Figura VII.6</b> – Balanços de massa envolvidos na sobreposição dos episódios eI e eII, calculados com base nos resultados obtidos para as amostras GS18-4#142 e GS-19-1#62/63.....	70

<b>Figura XI.1</b> – Exemplar de fácies “química” <b>RI</b> mineralizado (amostra GS18-4#60). A malha representa 1 cm.....	94
<b>Figura XI.2</b> – (a) Projecção do vector que descreve a incorporação de catiões trivalentes na posição do Zr, compensada pela introdução de P na posição do Si. (b) Projecção do vector que descreve a conjugação do mecanismo de substituição anterior com a entrada de catiões divalentes na posição do Zr, considerando igualmente a ocupação de vazios.....	95
<b>Figura XI.3</b> – Projecção do vector de substituição que descreve a entrada de trivalentes ( <i>e.g.</i> $Al^{3+}$ , $Fe^{3+}$ ) na posição do Ti.....	96
<b>Figura XI.4</b> – Projecções Zr vs. $TiO_2$ , Zr vs. Sc, Zr vs. Y, Zr vs. Hf, $TiO_2$ vs. Sc, $TiO_2$ vs. Hf, Sc vs. Y, Y vs. Hf, Zr vs. $Al_2O_3$ e $TiO_2$ vs. $Al_2O_3$ para a totalidade das análises de unidades metavulcânicas <i>s.l.</i> , intrusivas e metapelíticas, obtidas com FRX, de forma a testar a imobilidade dos elementos. Note-se que <i>Met</i> refere-se a amostras de fácies metapelíticas.....	152
<b>Figura XI.5</b> – Estudo comparativo dos resultados obtidos com FRX-P e FXR para diferentes elementos referentes a análises representativas da fácies “química” RA. Os valores e setas a vermelho pretendem indicar a presença de análises (maioritariamente <i>outliers</i> ) que, para facilitar a visualização dos dados, não foram incluídos nos respectivos gráficos.....	160
<b>Figura XI.6</b> – Estudo comparativo dos resultados obtidos com FRX-P e FXR para diferentes elementos referentes a análises representativas da fácies “química” RB. Os valores e setas a vermelho pretendem indicar a presença de análises (maioritariamente <i>outliers</i> ) que, para facilitar a visualização dos dados, não foram incluídos nos respectivos gráficos.....	161
<b>Figura XI.7</b> – Estudo comparativo dos resultados obtidos com FRX-P e FXR para diferentes elementos referentes a análises representativas da fácies “química” RC. Os valores e setas a vermelho pretendem indicar a presença de análises (maioritariamente <i>outliers</i> ) que, para facilitar a visualização dos dados, não foram incluídos nos respectivos gráficos.....	162
<b>Figura XI.8</b> – Estudo comparativo dos resultados obtidos com FRX-P e FXR para diferentes elementos referentes a análises representativas da fácies “química” qfR. Os valores e setas a vermelho pretendem indicar a presença de análises (maioritariamente <i>outliers</i> ) que, para facilitar a visualização dos dados, não foram incluídos nos respectivos gráficos.....	163
<b>Figura XI.9</b> – Estudo comparativo dos resultados obtidos com FRX-P e FXR para diferentes elementos referentes a análises representativas da fácies “química” RI. Os valores e setas a vermelho pretendem indicar a presença de análises (maioritariamente <i>outliers</i> ) que, para facilitar a visualização dos dados, não foram incluídos nos respectivos gráficos.....	164
<b>Figura XI.10</b> – Estudo comparativo dos resultados obtidos com FRX-P e FXR para diferentes elementos referentes a análises representativas da fácies “química” I. Os valores e setas a vermelho pretendem indicar a presença de análises (maioritariamente <i>outliers</i> ) que, para facilitar a visualização dos dados, não foram incluídos nos respectivos gráficos.....	165
<b>Figura XI.11</b> – Estudo comparativo dos resultados obtidos com FRX-P e FXR para diferentes elementos referentes a análises representativas de fácies metapelíticas (do tipo MVc, MBc, MNc, MCc e MN). Os valores e setas a vermelho pretendem indicar a presença de análises (maioritariamente <i>outliers</i> ) que, para facilitar a visualização dos dados, não foram incluídos nos respectivos gráficos.....	166

<b>Figura XI.12</b> – Projecção $Y_b$ vs. $Y$ para a totalidade das análises de minérios (semi-)maciços, de forma a testar a imobilidade dos elementos.....	167
---	-----

## Lista de tabelas

<b>Tabela III.1</b> – Caracterização macroscópica mineralógico-textural sumária das litologias, e respectivas fácies, intersectadas nas quatro sondagens reclassificadas.....	8
<b>Tabela VI.1</b> – Estatística descritiva referente aos dados de temperatura obtidos para os diferentes grupos de Chl definidos.....	51
<b>Tabela VII.1</b> – Balanços de massa globais para a totalidade de fácies encaixantes, envolvidos na transformação dos percursos seleccionados para as várias fácies nos respectivos equivalentes alterados/mineralizados, assumindo Zr como imóvel.....	66
<b>Tabela XI.1</b> – Localização espacial da boca do furo das sondagens seleccionadas para estudo, nos sistemas Datum Lisboa Hayford Gauss IGeoE e Datum ETRS89 Portugal TM06, bem como respectiva informação referente à elevação, azimute e inclinação reais, metragem e recuperação totais.....	92
<b>Tabela XI.2</b> – Composição reportada da liga metálica de aço inoxidável 316 (316 <i>Stainless Steel</i> – 316 SS) e valores médios das leituras obtidas durante a calibração (n=18) do equipamento <i>Olympus Vanta C Series</i> , utilizado na aquisição de dados de fluorescência de raio-X portátil.....	92
<b>Tabela XI.3</b> – Informação sobre sondagem, profundidade, classificações macroscópica e química, com respectiva referência, relativa aos exemplares seleccionados para estudos de mineralogia e geoquímica.....	93
<b>Tabela XI.4</b> – Padrões analíticos referentes às análises de feldspato.....	97
<b>Tabela XI.5</b> – Padrões analíticos referentes às análises de mica branca e stilpnomelano.....	97
<b>Tabela XI.6</b> – Padrões analíticos referentes às análises de clorite.....	98
<b>Tabela XI.7</b> – Padrões analíticos referentes às análises de epidoto.....	99
<b>Tabela XI.8</b> – Padrões analíticos referentes às análises de zircão.....	100
<b>Tabela XI.9</b> – Padrões analíticos referentes às análises de titanite.....	101
<b>Tabela XI.10</b> – Padrões analíticos referentes às análises de silicato de Fe (ferrossilite?).....	102
<b>Tabela XI.11</b> – Padrões analíticos referentes às análises de carbonatos comuns.....	102
<b>Tabela XI.12</b> – Padrões analíticos referentes às análises de synchysite.....	103
<b>Tabela XI.13</b> – Padrões analíticos referentes às análises de fluor-apatite.....	104
<b>Tabela XI.14</b> – Padrões analíticos referentes às análises de óxidos.....	105
<b>Tabela XI.15</b> – Padrões analíticos referentes às análises de sulfuretos e sulfossais.....	106
<b>Tabela XI.16</b> – Limites de detecção elementares (ppm) dos padrões analíticos utilizados para obtenção de análises de feldspato, moscovite e stilpnomelano, clorite, epidoto, zircão e titanite.....	107
<b>Tabela XI.17</b> – Limites de detecção elementares (ppm) dos padrões analíticos utilizados para obtenção de análises de silicato de Fe (ferrossilite?), carbonatos comuns e synchysite e apatite.....	108

<b>Tabela XI.18</b> – Limites de detecção elementares (ppm) dos padrões analíticos utilizados para obtenção de análises de óxidos, sulfuretos e sulfossais.....	109
<b>Tabela XI.19</b> – Análises representativas (em wt%) dos diferentes grupos de feldspato definidos.....	110
<b>Tabela XI.20</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para análises referentes ao núcleo de fenocristais e mineraloclastos de feldspato em metavulcânicas.....	110
<b>Tabela XI.21</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para análises referentes ao bordo de fenocristais e mineraloclastos de feldspato em metavulcânicas.....	111
<b>Tabela XI.22</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para análises referentes a feldspato presente em veios encaixados em metavulcânicas.....	111
<b>Tabela XI.23</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para análises referentes ao núcleo de fenocristais de feldspato em unidades intrusivas.....	112
<b>Tabela XI.24</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt%) para análises referentes ao bordo de fenocristais de feldspato em unidades intrusivas.....	112
<b>Tabela XI.25</b> – Análises representativas (em wt%) dos dois grupos de mica branca definidos.....	113
<b>Tabela XI.26</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt%) para análises de mica branca referentes ao grupo ante-deformação.....	113
<b>Tabela XI.27</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt%) para análises de mica branca referentes ao grupo pós-deformação.....	114
<b>Tabela XI.28</b> – Análises representativas (em wt%) para os diferentes grupos de Chl definidos.....	115
<b>Tabela XI.29</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt%) para análises de Chl referentes ao grupo <b>eI</b> .....	115
<b>Tabela XI.30</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt%) para análises de Chl referentes ao grupo <b>vulc.pré-def</b> .....	116
<b>Tabela XI.31</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt%) para análises de Chl referentes ao grupo <b>eII</b> .....	116
<b>Tabela XI.32</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt%) para análises de Chl referentes ao grupo <b>vulc.pós-def</b> .....	117
<b>Tabela XI.33</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt%) para análises de Chl referentes ao grupo <b>Imin</b> .....	117
<b>Tabela XI.34</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt%) para análises de Chl referentes ao grupo <b>I</b> .....	118
<b>Tabela XI.35</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt%) para análises de Chl referentes ao grupo <b>Jsp</b> .....	118
<b>Tabela XI.36</b> – Análise representativa (em wt%) de stilpnomelano e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de stilpnomelano.....	119

<b>Tabela XI.37</b> – Análises representativas (em wt%) para os diferentes grupos de epídoto identificados e estatística descritiva (em wt%) para a totalidade das análises de epídoto.....	120
<b>Tabela XI.38</b> – Análise representativa (em wt%) de zircão e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de zircão.....	121
<b>Tabela XI.39</b> – Análises representativas (em wt%) de titanite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de titanite.....	122
<b>Tabela XI.40</b> – Análises representativas (em <i>apuf</i> ) de carbonatos duplos da série Ank-Dol para os diferentes grupos definidos e estatística descritiva (em <i>apuf</i> ) para a totalidade de carbonatos duplos da série Ank-Dol.....	123
<b>Tabela XI.41</b> – Análises representativas (em <i>apuf</i> ) de calcite para os diferentes grupos definidos e estatística descritiva (em <i>apuf</i> ) para a totalidade de calcites.....	124
<b>Tabela XI.42</b> – Análises representativas (em <i>apuf</i> ) de siderite para os diferentes grupos definidos e estatística descritiva (em <i>apuf</i> ) para a totalidade de siderites.....	125
<b>Tabela XI.43</b> – Análises representativas (em wt%) de synchysite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de synchysite.....	126
<b>Tabela XI.44</b> – Análises representativas (em wt%) de apatite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de apatite.....	127
<b>Tabela XI.45</b> – Análise representativa (em wt%) de barite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de barite.....	127
<b>Tabela XI.46</b> – Análises representativas (em wt%) de magnetite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de magnetite.....	128
<b>Tabela XI.47</b> – Análises representativas (em wt%) de hematite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de hematite.....	129
<b>Tabela XI.48</b> – Análise representativa (em wt%) de goethite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de goethite.....	130
<b>Tabela XI.49</b> – Análise representativa (em wt%) de pseudobrookite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de pseudobrookite.....	131
<b>Tabela XI.50</b> – Análises representativas (em wt%) de rútilo e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de rútilo.....	132
<b>Tabela XI.51</b> – Análises representativas (em wt%) dos diferentes grupos de pirite definidos.....	133
<b>Tabela XI.52</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) referentes ao núcleo de pirites associadas ao episódio mineralizante precoce.....	134
<b>Tabela XI.53</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) referentes ao bordo de pirites associadas ao episódio mineralizante precoce.....	134
<b>Tabela XI.54</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) referentes ao núcleo de pirites associadas ao episódio mineralizante tardio.....	135



<b>Tabela XI.55</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) referentes ao bordo de pirites associadas ao episódio mineralizante tardio.....	135
<b>Tabela XI.56</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) referentes ao núcleo de pirites associadas ao episódio mineralizante tardio em contexto metapelítico.....	136
<b>Tabela XI.57</b> – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) referentes ao bordo de pirites associadas ao episódio mineralizante tardio em contexto metapelítico.....	136
<b>Tabela XI.58</b> – Análise representativa (em wt%) de esfaleirte representativa do episódio mineralizante precoce e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de esfalerite representativas do episódio mineralizante precoce.....	137
<b>Tabela XI.59</b> – Análise representativa (em wt%) de esfaleirte representativa do episódio mineralizante tardio e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de esfalerite representativas do episódio mineralizante tardio.....	138
<b>Tabela XI.60</b> – Análise representativa (em wt%) de galena representativa do episódio mineralizante precoce e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de galena representativas do episódio mineralizante precoce.....	139
<b>Tabela XI.61</b> – Análise representativa (em wt%) de galena representativa do episódio mineralizante tardio e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de galena representativas do episódio mineralizante tardio.....	140
<b>Tabela XI.62</b> – Análise representativa (em wt%) de calcopirite representativa do episódio mineralizante precoce e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de calcopirite representativas do episódio mineralizante precoce.....	141
<b>Tabela XI.63</b> – Análise representativa (em wt%) de calcopirite representativa do episódio mineralizante tardio e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de calcopirite representativas do episódio mineralizante tardio.....	142
<b>Tabela XI.64</b> – Análise representativa (em wt%) de arsenopirite representativa do episódio mineralizante precoce e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de arsenopirite representativas do episódio mineralizante precoce.....	143
<b>Tabela XI.65</b> – Análise representativa (em wt%) de arsenopirite representativa do episódio mineralizante tardio e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de arsenopirite representativas do episódio mineralizante tardio.....	144
<b>Tabela XI.66</b> – Análises representativas (em wt%) de tetraedrite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de tetraedrite.....	145
<b>Tabela XI.67</b> – Análises representativas (em wt%) de bournonite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de bournonite.....	146
<b>Tabela XI.68</b> – Análises representativas (em wt%) de fases da série cobaltite-gersdorffite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de fases da série cobaltite-gersdorffite.....	147

<b>Tabela XI.69</b> – Informação referente às condições de análise para os dados obtidos com recurso ao equipamento Zetium (4 kW) – Malvern Panalytical.....	148
<b>Tabela XI.70</b> – Limites de detecção para análises obtidas com recurso a FRX.....	149
<b>Tabela XI.71</b> – Informação referente aos métodos de análise e respectivos limites de detecção utilizados para as amostras de minério (semi-)maciço.....	150
<b>Tabela XI.72</b> – Informação referente à metodologia de preparação de amostras e aos procedimentos analíticos utilizados para as amostras de minério (semi-)maciço.....	151
<b>Tabela XI.73</b> – Estatística descritiva permitindo comparar os resultados obtidos com FRX-P e FRX referentes a análises representativas da fácies “química” RA.....	153
<b>Tabela XI.74</b> – Estatística descritiva permitindo comparar os resultados obtidos com FRX-P e FRX referentes a análises representativas da fácies “química” RB.....	154
<b>Tabela XI.75</b> – Estatística descritiva permitindo comparar os resultados obtidos com FRX-P e FRX referentes a análises representativas da fácies “química” RC.....	155
<b>Tabela XI.76</b> – Estatística descritiva permitindo comparar os resultados obtidos com FRX-P e FRX referentes a análises representativas da fácies “química” qfR.....	156
<b>Tabela XI.77</b> – Estatística descritiva permitindo comparar os resultados obtidos com FRX-P e FRX referentes a análises representativas da fácies “química” RI.....	157
<b>Tabela XI.78</b> – Estatística descritiva permitindo comparar os resultados obtidos com FRX-P e FRX referentes a análises representativas da fácies “química” I.....	158
<b>Tabela XI.79</b> – Estatística descritiva permitindo comparar os resultados obtidos com FRX-P e FRX referentes a análises representativas de fácies metapelíticas (tipo MVc, MBc, MNc, MCc e MN).....	159

## Lista de abreviaturas

Domínios tectono-estratigráficos e unidades litostratigráficas	
<b>ZSP</b> - Zona Sul Portuguesa	<b>GFBA</b> - Grupo <i>Flysch</i> do Baixo Alentejo
<b>ZOM</b> - Zona de Ossa Morena	<b>CVS</b> - Complexo Vulcano-sedimentar
<b>FPI</b> - Faixa Piritosa Ibérica	<b>GFQ</b> - Grupo Filito-quartzítico
Fases ou grupos minerais	
<b>Ab</b> - Albite	<b>K-Fsp</b> - Feldspato potássico
<b>Ame</b> - Amesite	<b>Kln</b> - Caulinite
<b>An</b> - Anortite	<b>Mgt</b> - Magnetite
<b>Ank</b> - Ankerite	<b>Mnz</b> - Monazite
<b>Ap</b> - Apatite	<b>Msc</b> - Moscovite
<b>Apy</b> - Arsenopirite	<b>Or</b> - Ortose
<b>Brn</b> - Bournonite	<b>Ph</b> - Fengite
<b>Brt</b> - Barite	<b>Pl</b> - Plagioclase
<b>Btn</b> - Bismutinite	<b>Po</b> - Pirrotite
<b>Cal</b> - Calcite	<b>Psb</b> - Pseudobrookite
<b>Cb</b> - Carbonato	<b>Px</b> - Piroxena
<b>Ccp</b> - Calcopirite	<b>Py</b> - Pirite
<b>Chl</b> - Clorite	<b>Qz</b> - Quartz
<b>Chm</b> - Chamosite	<b>Rtl</b> - Rutilo
<b>Clc</b> - Clinocloro	<b>Sd</b> - Siderite
<b>Cob</b> - Cobaltite	<b>Ser</b> - Sericite
<b>Cst</b> - Cassiterite	<b>Sp</b> - Esfalerite
<b>Dol</b> - Dolomite	<b>Stn</b> - Estanite
<b>Ep</b> - Epidoto	<b>Stp</b> - Stilpnomelano
<b>Fgt</b> - Freibergite	<b>Syn</b> - Synchysite
<b>Fl</b> - Fluorite	<b>Tnt</b> - Tenantite
<b>Fsp</b> - Feldspato	<b>Ttn</b> - Titanite (Esfena)
<b>Gdf</b> - Gersdorffite	<b>Ttr</b> - Tetraedrite
<b>Gn</b> - Galena	<b>Xtm</b> - Xenótimo
<b>Hem</b> - Hematite	<b>Zrn</b> - Zircão
Unidades	
<b>apuf</b> - átomos por unidade de fórmula	<b>km</b> - quilómetro
<b>ppm</b> - partes por milhão	<b>m</b> - metro
<b>wt%</b> - peso por cento	<b>dm</b> - decímetro
<b>Ma</b> - milhões de anos	<b>cm</b> - centímetro
	<b>mm</b> - milímetro
Outras	
<b>e.g.</b> - <i>exempli gratia</i> (por exemplo)	<b>CM</b> - <i>compositional map</i> (mapa composicional)
<b>ca.</b> - <i>circa</i> (cerca)	<b>EI</b> - <i>electron image</i> (imagem de electrões)
<b>i.e.</b> - <i>id est</i> (isto é)	<b>LT</b> - luz transmitida
□ - vazios estruturais	<b>LR</b> - luz reflectida
<b>SGL</b> - secção(/ões) geológica(s) interpretativa(s)	<b>LTSP</b> - luz transmitida simplesmente polarizada
<b>FRX</b> - fluorescência de raios-X	<b>LTDP</b> - luz transmitida duplamente polarizada
<b>FRX-P</b> - fluorescência de raios-X portátil	<b>LRSP</b> - luz reflectida simplesmente polarizada
	<b>LRDP</b> - luz reflectida duplamente polarizada



## I. Introdução

A Faixa Piritosa Ibérica (FPI), localizada no extremo SW da Península Ibérica, corresponde a uma província metalogénica de idade Varisca que se estende ao longo de *ca.* 250 km, hospedando uma das maiores concentrações de depósitos de sulfuretos maciços do mundo (Leistel *et al.*, 1998; Sáez *et al.*, 1999; Inverno *et al.*, 2015). De entre os numerosos depósitos conhecidos, destacam-se os gigantes Rio Tinto, Neves-Corvo, Tharsis, Aznalcollar e Aljustrel.

Não obstante as controvérsias existentes quanto aos critérios usados em vários estudos, a FPI é usualmente dividida em dois ramos: norte e sul (Strauss, 1970; Routhier *et al.*, 1980; Oliveira, 1990; Quesada, 1996; Leistel *et al.*, 1998; Sáez *et al.*, 1999). No ramo sul, o Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS), que forma uma das três unidades litostratigráficas da FPI, tende a ser dominado por sucessões metassedimentares e, salvo algumas excepções, as acumulações de sulfuretos maciços são hospedadas em metapelitos. No ramo norte, as rochas vulcânicas félsicas adquirem maior expressão no conjunto das sequências do CVS e as mineralizações sulfuretadas predominantes ocorrem no seio de sucessões metavulcanoclásticas (Tornos, 2006). O zonamento composicional dos depósitos, quando presente, é caracterizado por um domínio nuclear marcado por *stockworks* e minérios ricos em Cu, ao qual se sobrepõe e estende lateralmente um halo de mineralização (periférica) rica em Zn-Pb (Inverno *et al.*, 2015). Marcoux *et al.* (1996) sugerem ainda que a presença de fases de Cu, Bi, Co, Te e Se associadas ao domínio nuclear dos sistemas mineralizantes deverá traduzir processos de refinamento metalífero, resultantes da interacção da mineralização previamente depositada com fluidos de maior temperatura ricos em Cu.

O couto mineiro de Aljustrel compreende seis depósitos de sulfuretos maciços: Feitais, Estação, Algarès, Moinho, São João e Gavião. Contrariamente aos restantes depósitos, Gavião localiza-se a oeste da falha da Messejana. Este depósito inclui duas massas principais, SW e NE, representando o prolongamento para NW do eixo mineralizado de São João, Moinho e Algarès, rejeitado pela falha da Messejana em *ca.* 2,6 km para SW. Relvas (1991) sugere que as massas NE e SW se relacionam com sistemas hidrotermais independentes, focalizados sob cada um deles, e que apenas a massa NE deverá representar a terminação do eixo mineralizante São João-Moinho-Algarès. Nesta interpretação, a massa SW integrará um alinhamento distinto, ainda não devidamente reconhecido a este da falha da Messejana (Relvas, 1991). A massa SW adquire especial relevância como resultado da sua dimensão, mas principalmente atendendo às concentrações em metais base e preciosos relatados em vários estudos (*ca.* 1.5% Cu, 4.0% Zn, 1.6% Pb, 0.9 g/ton Au e 48.3 g/ton Ag), muito superiores à média dos valores documentados para os restantes depósitos de Aljustrel (Relvas, 1991). A massa é cortada pela “Falha Principal”, que desloca o seu ramo NW para N, dando origem à massa NW. Apesar dos aprofundados trabalhos efectuados no depósito de Gavião desde a sua descoberta em 1970 pela Sociedade Mineira de Santiago, o domínio hospedeiro da massa NW nunca foi sujeito a estudos de grande detalhe.

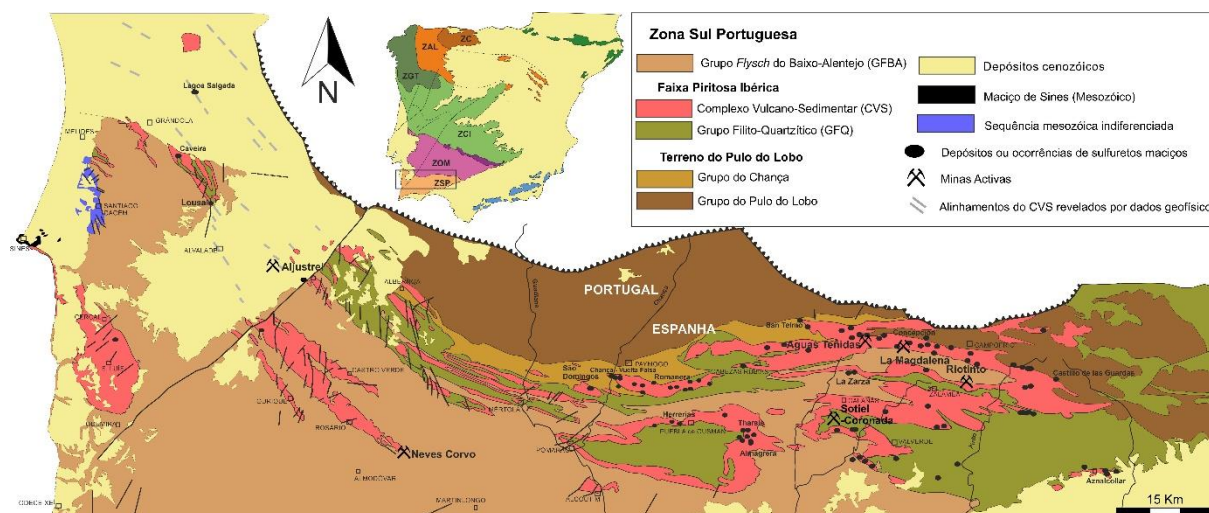
O presente trabalho tem como principal objectivo a caracterização dos padrões de alteração hidrotermal e das mineralizações de sulfuretos maciços no sector W de Gavião, visando (i) obtenção de elementos que possam contribuir para refinamentos do modelo metalogenético existente; e (ii) explorar possíveis indicadores mineralógicos e/ou geoquímicos que possam constituir-se como vectores para a descoberta de novas mineralizações.

Para tal, procedeu-se à reclassificação dos testemunhos de quatro sondagens (GS-18003, GS-18004, GS-18005A e GS-19001) que intersectam a mineralização e respectivas unidades encaixantes entre os perfis P7 e P10, bem como à sua amostragem sistemática com FRX-P. Os estudos subsequentes de petrografia, química mineral e de litogeoquímica multi-elementar recaíram sobre um total de 43 amostras, das quais 9 correspondem a exemplares de minério e as restantes a litologias encaixantes.

## II. Enquadramento

### II.1. Regional

A Zona Sul Portuguesa (ZSP) forma o domínio tectono-estratigráfico meridional do Orógeno Varisco na Península Ibérica (Lötze, 1945; Julivert *et al.*, 1972; Oliveira, 1990; Silva & Pereira, 2004) – **Figura II.1**. Durante as fases iniciais da orogenia Hercínica, o fecho do oceano Rheic em regime transpressivo esquerdo (Ribeiro *et al.*, 1990; Silva *et al.*, 1990; Quesada *et al.*, 1994) terá culminado com a colisão oblíqua entre a ZSP e o Terreno Ibérico, cuja sutura (desenvolvida ao longo do contacto com a Zona de Ossa Morena, ZOM) é hoje marcada pelo Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuches (COBA) e o Terreno do Pulo do Lobo (Ribeiro *et al.*, 1990; Quesada, 1991; Quesada *et al.*, 1994). Como consequência da convergência oblíqua e subducção geram-se condições propícias à abertura de bacias intracontinentais (em regime transtensivo) nas margens adelgadas da ZSP (Silva *et al.*, 1990; Quesada, 1998; Tornos *et al.*, 2002), onde ocorre sedimentação de natureza predominantemente siliciclástica. Entre o Devónico Superior e o Carbónico Médio, o enchimento destas bacias é perturbado e/ou interrompido de forma intermitente por manifestações magmáticas bimodais e deposição de volumes consideráveis de materiais vulcanoclásticos (Munhá, 1983a; Mitjavilla *et al.*, 1997; Jesus *et al.*, 2007; Ribeiro *et al.*, 2007; Ribeiro *et al.*, 2010; Pereira *et al.*, 2017). Embora a abertura e preenchimento das bacias seja diacrónica (mais recentes para SE) e registe evolução independente, é possível definir uma sequência litostratigráfica geral para a FPI, composta por três unidades que, da base para o topo, tomas as designações seguintes: Grupo Filito-Quartzítico (GFQ), Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS) e Grupo *Flysch* do Baixo Alentejo (GFBA).



**Figura II.1** – Geologia simplificada da Zona Sul Portuguesa. Adaptado de Luz *et al.* (2019), modificado de Oliveira (1992), Barriga *et al.* (1997), Leistel *et al.* (1998), Carvalho *et al.* (1999), Matos *et al.* (2000, 2006) e Tornos (2006).

O GFQ é maioritariamente composto por unidades metassiliciclásticas finas, pelíticas (filitos e xistos) e psamíticas (quartzitos e metagravaques), e metaconglomeráticas depositadas em ambiente de plataforma continental (Oliveira, 1990; Luz *et al.*, 2019), com lenticulas carbonatadas locais próximas do topo da unidade. A preservação de amonóides, conodontes e várias associações palinomórficas nestas rochas, indicam idades entre o Givetiano médio e o Fameniano médio (Boorgaard & Schermerhorn, 1981; Moreno *et al.*, 1996; Jorge *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2019; Mendes *et al.*, 2020). A base desta unidade não foi ainda intersectada; estima-se, contudo, que a sua espessura se estenda por milhares de metros (Oliveira, 1983; Silva *et al.*, 1990; Oliveira *et al.*, 2013).

O CVS consiste sobretudo numa sucessão de rochas metavulcânicas *s.l.* intercaladas com metassedimentos siliciclásticos finos (Tornos, 2006; Rosa *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2013). Nas sucessões (sub-)aflorantes, as fácies vulcânicas são dominadas por rochas de composição riolítica, riodacítica e dacítica, representando episódios de carácter explosivo e efusivo (Rosa *et al.*, 2008; Rosa

*et al.*, 2010; Leitão, 2014). As litologias vulcânicas máficas (basaltos e espilitos), predominam em algumas sucessões do CVS, embora os corpos máficos intrusivos e hipabissais (sob a forma de diques, soleiras ou filões) sejam mais comuns. Em alguns sectores da FPI reconhecem-se ainda unidades vulcânicas de composição andesítica (Munhá, 1983a; Mitjavilla *et al.*, 1997; Codeço *et al.*, 2018). As unidades metavulcânicas compreendem desde termos coerentes a clásticos, estes últimos usualmente resultantes da desagregação e consequente retrabalhamento sedimentar de fragmentos com origem em unidades vulcânicas coerentes (Rosa *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2013). A predominância relativa de componentes vulcanoclásticos sobre siliciclásticos indica geralmente proximidade aos centros vulcânicos, motivo pelo qual estas rochas registam importantes variações laterais e verticais de fácies. A espessura das pilhas metavulcânicas é variável entre bacias, mostrando frequentemente evidências mineralógicas e geoquímicas imputáveis a fenómenos intensos de alteração associados a metassomatismo oceânico (Munhá *et al.*, 1980; Barriga & Kerrich, 1984) ou ao desenvolvimento de sistemas hidrotermais de baixa e alta temperatura responsáveis pelas várias ocorrências e depósitos de sulfuretos maciços (Barriga & Fyfe, 1988; Relvas, 2001), mas também pela deposição de várias rochas quimiogénicas *s.l.*, por vezes associadas a mineralizações manganésíferas (*e.g.* Moreira *et al.*, 2015). As diferentes metodologias utilizadas para datação da instalação das várias unidades magmáticas apontam para idades essencialmente compreendidas entre os 360 e 340 Ma (Fameniano Superior e Viseano Superior) (*e.g.* Mathur *et al.*, 1999; Barrie *et al.*, 2002; Rosa *et al.*, 2008; Rosa *et al.*, 2009; Oliveira *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2019; Donaire *et al.*, 2020; Amaral *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2021). Não obstante a associação espacial e temporal do vulcanismo bimodal, não se observam transições graduais entre unidades félsicas e máficas, sugerindo que as pulsações magmáticas com as quais se relacionam sejam distintas e tenham evoluído separadamente. As rochas vulcânicas máficas apresentam afinidade toleítica a alcalina e terão tido origem em magmas provenientes do manto superior, sujeitos a reduzida contaminação crustal. As rochas félsicas, de afinidade calco-alcalina, devem a sua génese a diferentes graus de fusão crustal (Munhá, 1983a; Mitjavilla *et al.*, 1997; Thiéblemont *et al.*, 1998). À escala regional, reconhecem-se pelo menos três episódios félsicos e dois máficos (Saéz *et al.*, 1999). O GFBA (ou *Culm*) compreende uma sucessão metassedimentar de fácies siliciclásticas composta por metaconglomerados, metagrauvaques, quartzitos, metaquartzovaques, metassiltitos e xistos argilosos, depositados durante o Viseano superior em sistemas turbidíticos, podendo atingir espessuras de vários quilómetros (Pereira *et al.*, 2007, Pereira *et al.*, 2010). Considerando as características sedimentares apresentadas pelas sucessões de fácies, grau metamórfico e deformação, o GFBA é usualmente dividido nas formações de Mértola, Mira e Brejeira.

Durante a colisão, a inversão tectónica induz o desenvolvimento de dobramentos assimétricos e estruturas típicas de tectónica pelicular, com vergência para SW. Embora fortemente heterogénea, a acomodação da deformação na ZSP tende a aumentar para N em direcção à zona de sutura (*e.g.* Silva *et al.*, 1990; Quesada, 1991). No período tardi- a pós-Varisco, a acomodação da deformação processa-se sobretudo através de nucleação/propagação/reactivação de diversos sistemas de falhas de desligamento com orientação NNW-SSE a N-S e NE-SW (Ribeiro, 1984; Schermerhorn *et al.*, 1987; Quesada, 1996; Leitão, 1997).

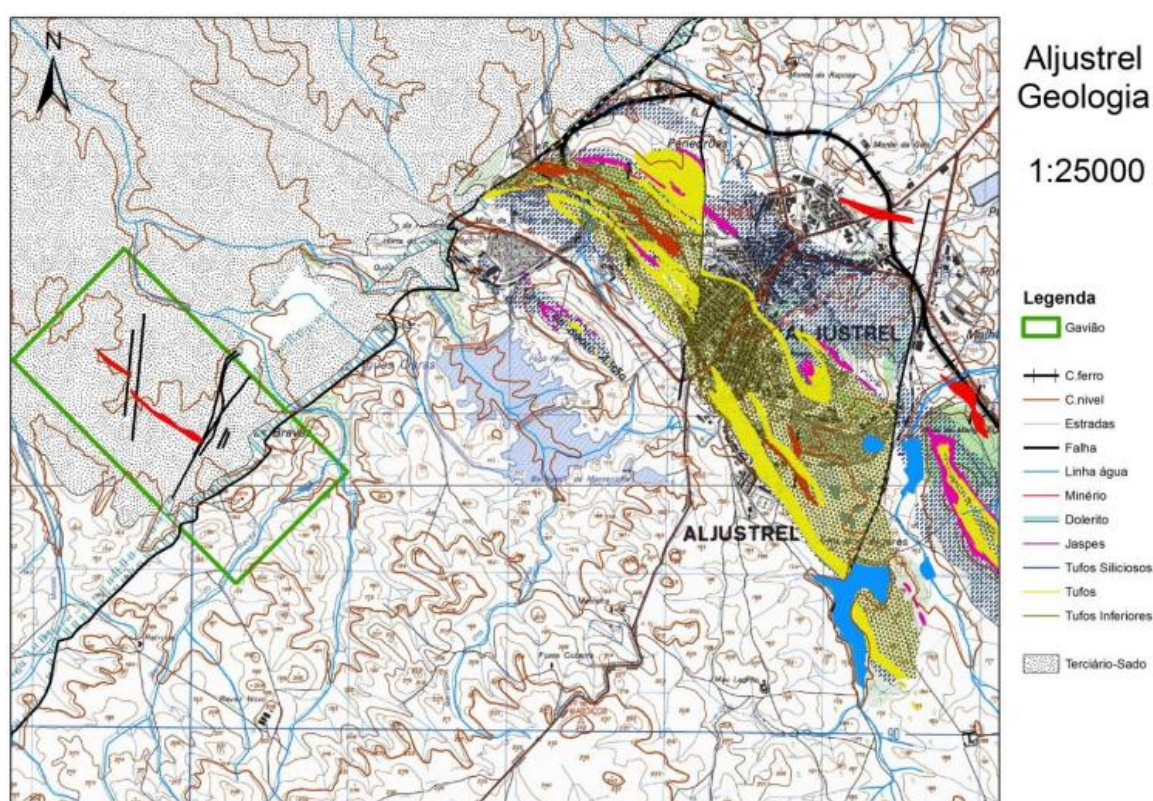
De forma síncrona com a deformação (Priem *et al.*, 1978), a ZSP é afectada por metamorfismo isoquímico de baixo grau (40-50°C/km) (Schermerhorn, 1975; Munhá, 1976, 1983b), e as fácies metamórficas resultantes tendem a aumentar de grau para N, desde zeolítica, passando por prenite-pumpleite, a xistos verdes (zona da clorite, embora localmente atinja condições de transição para a zona da biotite – *e.g.* Moreira *et al.*, 2015; Codeço *et al.*, 2018).

## II.2. Aljustrel

O couro mineiro de Aljustrel (**Figura II.2**) situa-se no extremo norte do ramo sul da FPI, poucos km a sul do carreamento Pero da Vinha-Biguina (*e.g.* Schermerhorn & Stanton, 1969; Leitão, 1992; Inverno



*et al.*, 2015). A estruturação local é consistente com a orientação NW-SE e o estilo de deformação varisca definido à escala regional, compreendendo uma sucessão litostratigráfica dobrada onde se reconhecem quatro estruturas principais: Anticlinal de Feitais, Anticlinal Central, Anticlinal SW (separado do anterior pelo Sinclinal de São João) e Anticlinal de Santo Antão (Ribeiro & Silva, 1983). A intensidade do dobramento é forte, conduzindo com frequência à laminação tectónica dos flancos inversos. No período tardi- a pós-varisco, desenvolvem-se numerosas falhas de desligamento, de entre as quais se salientam as que formam a família N-S, atendendo aos rejeitos significativos que se lhes associa, onde se incluem os desligamentos do Castelo, da Represa, de Feitais, do Esteval, do Paraíso e da Messejana (Ribeiro, 1984; Schermerhorn *et al.*, 1987; Quesada, 1996; Leitão, 1997). Durante o Jurássico médio, a falha da Messejana e respectivas estruturas subsidiárias foram palco de ascensão de magma toleítico, resultando na formação de diques máficos comumente denominados de “doleritos da Messejana” (Zbyszewski & Andrade, 1957; Schermerhorn & Stanton, 1969; Andrade & Schermerhorn, 1971; Schermerhorn *et al.*, 1978).



**Figura II.2** – Geologia simplificada da região de Aljustrel. O polígono assinalado representa a região do Gavião. Note-se que, das duas massas (NE e SW) do jazigo, apenas a massa SW se encontra representada. Retirado de Gomes & Rosa (2014).

Não obstante os aprofundados estudos de metalogenia que incidiram sobre o gigante Aljustrel (*e.g.* Barriga, 1983; Relvas, 1991; Inverno *et al.*, 2008; Santos, 2020), a sua geologia e estratigrafia tem sido igualmente foco de vários trabalhos desde o início dos anos 70 (Schermerhorn & Stanton, 1969; Barriga, 1983; Schermerhorn *et al.*, 1987; Relvas, 1991; Barrett *et al.*, 2008; Leitão, 2009, 2014). De forma geral, a sequência litostratigráfica da região compreende uma espessa sucessão dominada por rochas vulcânicas félsicas e, em menor proporção, rochas metassedimentares pertencentes ao CVS, sendo ainda caracterizada pela ausência do GFQ. O CVS é marcado por uma espessa sequência vulcânica félsica dividida em várias formações e unidades, inicialmente interpretadas como resultado de vulcanismo explosivo; Andrade & Schermerhorn (1971) consideram a existência das formações Fácies Felsítica (AV1-ff) e Tufo da Mina (AV2-mt), e ainda Tufo com Megacristais (AV1-M) e Tufo Verde (AV2-gt) como respectivos equivalentes laterais. Barriga (1983) considera ainda como equivalentes laterais as



formações Tufo da Mina (**MT**) e Tufo com Olhos de Quartzo (**QET**). Trabalhos mais recentes (Leitão 2006, 2009, 2014) consideram a existência de dois episódios de vulcanismo félsico principais, e que as formações e unidades de Aljustrel representam equivalentes laterais desses mesmos episódios. O primeiro episódio, marcado por vulcanismo félsico efusivo (Lavas Riolíticas Quartzo-Feldspáticas, **FLQ**), terá concorrido para a instalação de (cripto-)domas, representando os núcleos coerentes lateralmente aos quais se desenvolvem fácies epiclásticas (sedimentos vulcanogénicos) resultantes da sua alteração e desagregação progressiva. O segundo episódio de vulcanismo félsico (Lavas Riolíticas Albitofíricas, **FLA**) é representado por escoadas lávicas e fácies autoclásticas (brechas e hialoclastitos), às quais se associam também fácies epiclásticas e sedimentos vulcanogénicos (Leitão, 2014). Dados geocronológicos de U-Pb em zircão (Barrie *et al.*, 2002; Rosa *et al.*, 2009; Amaral *et al.*, 2021) datam o vulcanismo félsico do topo do Fameniano (Devónico superior) e do Tournasiano (Carbónico inferior). A topo desta formação apresenta-se um nível espesso e descontínuo de sedimentos siliciosos e rochas de natureza exalativa-hidrotermal com morfologia lenticular (Relvas, 1991; Leitão, 2009, 2014), marcando a base da Fm. do Paraíso (**FP**). Esta sequência é composta por metassedimentos areníticos, siltíticos e argilíticos finamente laminados, e marca a transição (localmente gradual) para a Fm. de Mértola (Oliveira, 1990; Leitão, 2014). Leitão (1992) considera ainda a existência de um terceiro episódio vulcânico, de natureza máfica, constituindo a Fm. Vulcânica Básica (**FVB**), representado por lavas em almofada que se dispõem imediatamente acima do nível de jaspes.

### II.2.1. Gavião

O couro mineiro de Aljustrel é composto por seis depósitos de sulfuretos maciços – Feitais, Estação, São João, Algarés, Moinho e Gavião; os dois primeiros localizados no Anticlinal Central, e os restantes situados na estrutura Sinclinal-Anticlinal de São João-SW. Contrariamente aos restantes depósitos, Gavião localiza-se a oeste da falha da Messejana (**Figura II.2**), sendo vulgarmente considerado como o prolongamento para NW das massas de Moinho e São João, tardiamente cortado por este importante acidente regional com um rejeito esquerdo de *ca.* 2,6 km para SW com abatimento do bloco NW (Relvas *et al.*, 2011; Gomes & Rosa, 2014). O depósito é hospedado em unidades do Tournasiano (**AV2gt**, **AVmt** e tufos com composição riolítica com megacristais) e do Viseano inferior (xistos siliciosos, raros sedimentos vulcanoclásticos finos, jaspes e chertes, incluídos na designada “Formação de Gavião”) (Schermerhorn *et al.*, 1987; Relvas, 1991; Matos *et al.*, 2010; Relvas *et al.*, 2011). Dados palinológicos datam a Fm. de Gavião do topo do Tournasiano (Matos *et al.*, 2010). Sobrejacente ao CVS encontra-se o *Culm*, marcado por alternâncias de xistos e grauvaques, com idade compreendida entre o Viseano superior e médio (Matos *et al.*, 2010).

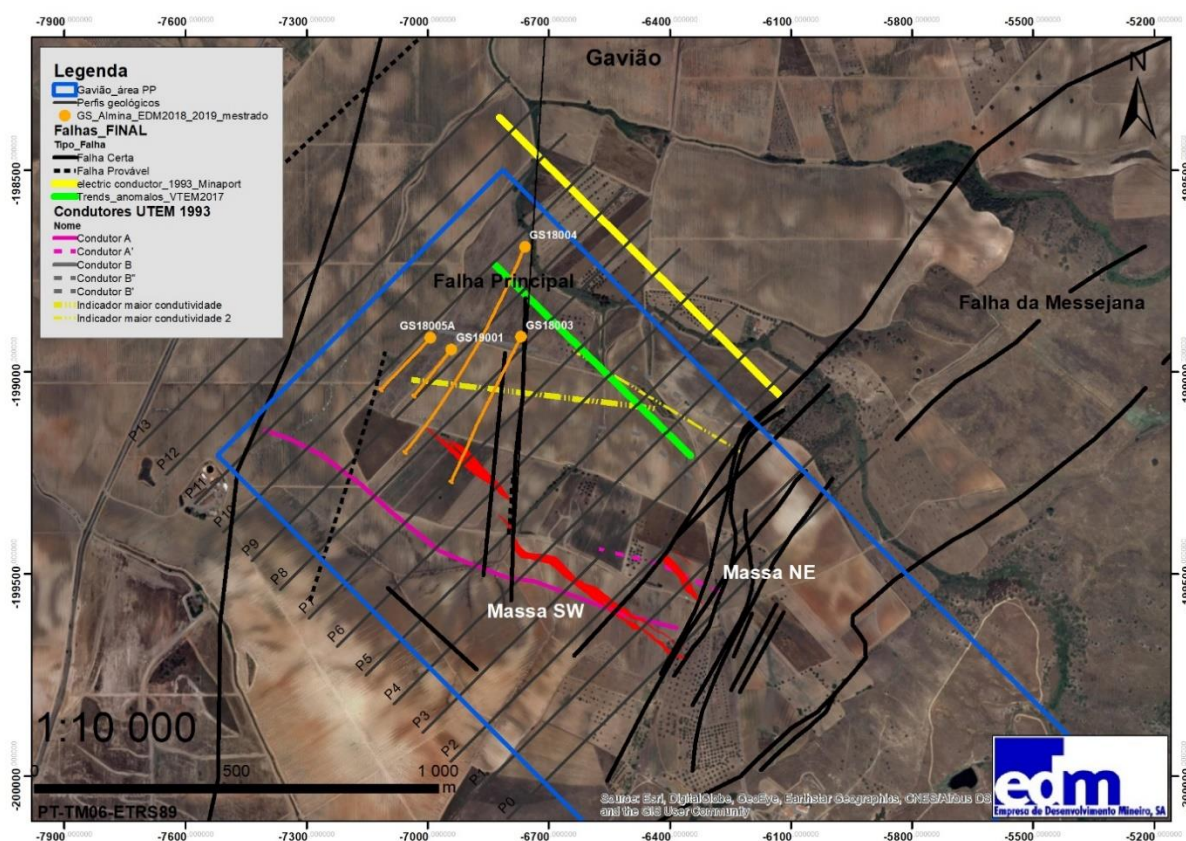
O jazigo de Gavião é composto por duas massas de sulfuretos maciços principais: SW e NE. A primeira, e mais importante, correspondente a um corpo único localizado no flanco normal do Sinclinal de São João. A segunda, inclui duas lentículas situadas no flanco inverso da mesma estrutura. Ambas as massas são hospedadas no mesmo nível estratigráfico, em litologias atribuídas à Fm. Tufo da Mina (Relvas, 1991; Gomes & Rosa, 2014). A massa SW é cortada pela “Falha Principal”, de orientação NNE-SSW, deslocando o seu ramo NW para N, dando origem a uma lentícula de menor teor e possança, designada massa NW.

Relvas (1991) sugere que as massas de Gavião tenham sido geradas por sistemas hidrotermais independentes, focalizados sob cada um deles; a massa NE deverá representar a terminação do eixo mineralizante São João-Moinho-Algarés, contrariamente à massa SW, que deverá representar um alinhamento distinto, não reconhecido a este da falha da Messejana até à data.

Os corpos mineralizados apresentam morfologia estratiforme, mergulhando para NE, por vezes atingindo 80 a 85° (Gomes & Rosa, 2014). As massas sulfuretadas apresentam constituição mineralógica relativamente monótona, dominada por pirite e quantidades acessórias de esfalerite, calcopirite e galena (Relvas, 1991; Relvas *et al.*, 2011; Alves & Pinto, 2014).

### III. Metodologias

Para efeitos do presente estágio foram estudadas quatro sondagens (GS-18003, GS-18004, GS-18005A e GS-19001), perfazendo um total de 2854.75 m de testemunhos de rocha que providenciam informações sobre o sector W da concessão C14 Gavião Nº6 (**Figura III.1**). Esta concessão ocupa uma área de 2 km<sup>2</sup> a cerca de 3 km a W da vila de Aljustrel, e da qual a Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A. (EDM) é detentora dos direitos mineiros. Os trabalhos realizados desde 5 de Julho de 2012 nesta concessão, nos quais se inclui a campanha de sondagens 2018/2019 que produziu as referidas sondagens, são fruto do consórcio EDM/Almina – Minas do Alentejo S.A..



**Figura III.1** – Localização das sondagens (projectadas à superfície) na área de prospecção e pesquisa de Gavião correspondente à Concessão C14 Gavião nº6. As massas NE e SW que constituem o jazigo de Gavião, assim como os principais condutores geofísicos, encontram-se igualmente projectados. Os perfis geológicos (P0 a P13) referem-se à primeira campanha de sondagens realizada na área de Gavião pela Sociedade Mineira de Santiago (SMS).

#### III.1. Selecção de sondagens

A selecção das sondagens a estudar foi realizada pela EDM, tendo sido objectivo da mesma optar por aquelas que permitissem: (i) estudar o possível prolongamento para NW da massa SW do jazigo de Gavião, abrangendo um sector, até à data, menos estudado; (ii) caracterizar as associações minerais de alteração e as que constituem os minérios intersectados por sondagem; (iii) fundamentar a reconstituição estrutural local e, portanto, que a sua disposição espacial fosse favorável à transposição de informação entre secções geológicas interpretativas contíguas; e (iv) detalhar a sequência litostratigráfica da área de Gavião, favorecendo a amostragem representativa dos vários tipos litológicos e respectivas fácies.

As sondagens seleccionadas (GS-18003, GS-18004, GS-18005A e GS-19001) são sub-paralelas entre si e, em profundidade, providenciam informação relativa à área entre os perfis P7 e P10, definidos pela Sociedade Mineira de Santiago (SMS) durante a primeira campanha de sondagens realizada no Gavião entre 1969 e 1973. A informação referente à localização espacial das sondagens estudadas consta da **Tabela XI.1** em anexo.

### III.2. Reclassificação de sondagens

A primeira etapa do trabalho consistiu na reclassificação detalhada das quatro sondagens seleccionadas, previamente classificadas pela Almina, a qual decorreu entre Abril e Maio de 2019 nas instalações da empresa, em Aljustrel.

A reclassificação das sondagens teve como principais objectivos: **(i)** a descrição e caracterização macroscópica detalhada das diferentes litologias e fácies intersectadas; **(ii)** a descrição e caracterização das diferentes associações minerais de alteração reconhecíveis macroscopicamente, e respectivos modos de manifestação (nomeadamente no que respeita características texturais e de cronologia relativa); **(iii)** a descrição e caracterização macroscópica de minérios, atendendo a critérios mineralógicos e texturais, bem como relações de corte; **(iii)** a medição sistemática de estruturas (*e.g.* planos de estratificação, xistosidade, foliação, descontinuidades de natureza diversa e contactos) e, sempre que possível, proceder ao estabelecimento da sua cronologia relativa; e **(iv)** a identificação de critérios de polaridade, fundamentais à reconstituição estrutural das linhas de sondagem, com vista à produção de secções geológicas interpretativas.

Esta etapa conduziu à elaboração de um registo detalhado, para cada uma das sondagens reclassificadas, no qual consta toda a informação acima enumerada. A caracterização dos diversos testemunhos de sondagem culminou na definição de três principais grupos litológicos, os quais se subdividem em diferentes sub-grupos e fácies, que se distinguem com base em critérios de natureza mineralógica e textural, como apresentado na **Tabela III.1**.

### III.3. Amostragem

Em concomitância com o processo de reclassificação de sondagens, procedeu-se à realização de duas campanhas de amostragem: de testemunhos e de geoquímica com FRX-P. Esta etapa teve como objectivo amostrar, tanto quanto possível, a diversidade de litologias, fácies, minérios, associações minerais e texturas de alteração, intersectadas pelas quatro sondagens estudadas.

#### *III.3.1. Amostragem de testemunhos*

A amostragem de testemunhos de sondagem foi conduzida de forma a garantir representatividade: **(i)** de associações minerais (reconhecíveis macroscopicamente), relacionadas com processos de alteração imputáveis a eventos mineralizantes associados ao desenvolvimento de massas de sulfuretos maciços; e **(ii)** de alterações pós-pico de deformação/metamorfismo, expressas através de relações texturais e de corte. Amostraram-se 165 testemunhos de sondagem com dimensão variável entre 10 e 50 cm: 31, 77, 24 e 33 amostras nas sondagens GS-18003, GS-18004, GS-18005A e GS-19001, respectivamente.

De modo a garantir continuidade do registo geológico e condições de acesso ao mesmo por parte das empresas, apenas foi possível amostrar meio testemunho ou, no caso das intersecções de sulfuretos maciços (e outras alvo de estudos anteriores), apenas um quarto.

A referenciação das amostras em cada sondagem, segue a numeração sequencial, do topo para a base.

#### *III.3.2. Amostragem geoquímica portátil*

A amostragem geoquímica com FRX-P foi realizada, sempre que possível, em todos os sectores definidos durante a reclassificação das sondagens e, com base nas amostras de testemunho previamente seleccionadas, em séries de três análises (amostra de testemunho seleccionada, topo e muro da amostra) espaçadas entre si, em média, não mais que um metro. Em cada análise o tempo de leitura foi de 60 segundos. Realizaram-se 116, 251, 112 e 113 leituras, nas sondagens GS-18003, GS-18004, GS-18005A e GS-19001, respectivamente. Para o efeito, utilizou-se a FRX-P *Olympus Vanta C Series*, equipada com tubo de raios-X de Rh, voltagem máxima de 40kV e detector de silício (*Silicon Drift Detector*). Após ligado, o equipamento foi sujeito a calibração interna, seguida de calibração em liga metálica de aço inoxidável 316 (316 *Stainless Steel* – 316 SS). Na **Tabela XI.2** em anexo, pode consultar-se a composição reportada da liga metálica e os valores médios das leituras obtidas durante a calibração (n=18).

**Tabela III.1** – Caracterização macroscópica mineralógico-textural sumária das litologias, e respectivas fácies, intersectadas nas quatro sondagens reclassificadas.

<b>Fácies Metavulcânicas s.l.</b>		
<b>MS</b> (Matrix Supported)	Rocha metavulcanoclástica de natureza félsica, essencialmente quartzo-feldspática, suportada pela matriz. Apresenta textura inequigranular bimodal, caracterizada pela presença de mineraloclastos bem calibrados de minerais félsicos, dispersos no seio de matriz pelítica fina a muito fina (filossilicatada ± quartzo-feldspática).	
MS <sub>qt</sub>	MS, cujos elementos figurados correspondem a clastos de Qz + Fsp em proporções equivalentes.	
MS <sub>f</sub>	MS, cujos elementos figurados correspondem a clastos de Fsp (± Qz).	
MS <sub>q</sub>	MS, cujos elementos figurados correspondem a clastos de Qz (± Fsp).	
<b>CS</b> (Clast Supported)	Rocha metavulcanoclástica de natureza félsica, essencialmente quartzo-feldspática, suportada pelos clastos. Apresenta textura inequigranular bimodal, caracterizada pela presença de mineraloclastos bem calibrados de minerais félsicos, cujos espaços intersticiais se encontram preenchidos por matriz pelítica (filossilicatada ± quartzo-feldspática).	
CS <sub>qt</sub>	CS, cujos elementos figurados correspondem a clastos de Qz + Fsp em proporções equivalentes.	
CS <sub>f</sub>	CS, cujos elementos figurados correspondem a clastos de Fsp (± Qz).	
CS <sub>q</sub>	CS, cujos elementos figurados correspondem a clastos de Qz (± Fsp).	
<b>CC</b> (Clástica Competente)	Rocha metavulcanoclástica de natureza félsica, essencialmente quartzo-feldspática, competente. Apresenta textura equigranular de grão fino a muito fino (tipo félsica), com pontuais fenocristais e/ou mineraloclastos bem calibrados de minerais da mesma natureza, sem aparente retrabalhamento sedimentar.	
CC <sub>qt</sub>	CC, cujos fenocristais e/ou clastos correspondem a Qz + Fsp em proporções equivalentes.	
CC <sub>f</sub>	CC, cujos fenocristais e/ou clastos correspondem a Fsp (± Qz).	
CC <sub>q</sub>	CC, cujos fenocristais e/ou clastos correspondem a Qz (± Fsp).	
<b>M</b> (Maciça)	Rocha metavulcânica lávica maciça, de natureza félsica. Apresenta textura porfírica (matriz micro a cripto-cristalina) ou vitrofírica (matriz vítrea), cujos fenocristais correspondem a minerais félsicos, ou vacuolar, ou afírica (sem fenocristais).	
M <sub>qt</sub>	M, com fenocristais de Qz + Fsp em proporções equivalentes.	
M <sub>f</sub>	M, com fenocristais de Fsp (± Qz).	
M <sub>q</sub>	M, com fenocristais de Qz (± Fsp).	
M	M, sem fenocristais (textura holo- vítrea ou cristalina, afírica).	
<b>CS<sub>ir</sub></b> (Clast Supported)	Rocha metavulcanoclástica de natureza félsica a intermédia, suportada pelos clastos. Apresenta textura inequigranular seriada, caracterizada pela presença de abundantes litoclastos de material pomítico (sob a forma de <i>fiamme</i> ) e, mais raramente, mineraloclastos de natureza félsica (essencialmente Qz + Fsp), cujos espaços intersticiais se encontram preenchidos por matriz pelítica (quartzo-feldspática ± filossilicatada).	

<b>Nota:</b>	<b>Presença de megacristais de Fsp em torno de mineraloclastos e/ou fenocristais de Fsp e/ou Qz.</b>
*	De dimensão inferior a 1 cm.
**	De dimensão superior a 1 cm.

<b>Fácies Intrusivas s.l. (Intermédias a Máficas)</b>	
<b>I</b>	Rocha intrusiva de natureza intermédia a máfica, de cor verde. Apresenta textura fanerítica a microfanerítica porfírica, caracterizada pela presença de fenocristais de Amp e/ou Px e, mais raramente, Fsp, no seio de matriz da mesma natureza.
<b>I<sub>M</sub></b>	Rocha intrusiva de natureza intermédia a máfica, de cor negra. Apresenta textura fanerítica a microfanerítica porfírica, caracterizada pela presença de abundantes fenocristais de Fsp, no seio de matriz de natureza ferro-magnésiana.

Fácies Metassedimentares s.l.		
Siliciclásticas		
Com Contribuição Vulcânica		Rocha metassedimentar pelítica, com variação da componente pelítica dominante (argilítica vs . psamítica). Apresenta evidências de possível contribuição de origem vulcânica, nomeadamente através da presença de grãos de Fsp de reduzida dimensão no seio da matriz.
	MV <sub>c</sub>	de cor verde.
	MC <sub>c</sub>	de cor cinzenta.
	MB <sub>c</sub>	de cor "borra de vinho".
	MN <sub>c</sub>	de cor negra.
Sem Contribuição Vulcânica		Rocha metassedimentar pelítica, com variação da componente pelítica dominante (argilítica vs . psamítica), sem aparente contribuição vulcanogénica.
	MN	de cor negra.
Quimiogénicas		
	JSP	Rocha siliciosa micro- a cripto-cristalina, de tonalidade vermelha.
	CH	Rocha siliciosa micro- a cripto-cristalina.

### III.4. Produção de secções geológicas interpretativas

A elaboração de secções geológicas interpretativas para as quatro sondagens estudadas considerou tanto critérios de polaridade (incluindo relações geométricas entre  $S_0$  e  $S_1$ ), como a conjugação das características macroscópicas apresentadas pelas diferentes litologias e fácies intersectadas com as respectivas composições geoquímicas, preliminarmente definidas com recurso a FRX-P. Este processo facilitou a agregação de informação entre sectores contíguos de unidades litológicas equivalentes, salvaguardando sempre a informação obtida durante a etapa de reclassificação das sondagens, nomeadamente no que respeita contactos entre esses mesmos sectores.

### III.5. Selecção de amostras para estudos de mineralogia e geoquímica

A escolha de amostras para estudos subsequentes de mineralogia e geoquímica considerou a apreciação detalhada dos 165 troços de testemunho amostrados através de, primeiramente, registo fotográfico e, posteriormente, caracterização macroscópica com auxílio de lupa binocular. Ambos os procedimentos foram realizados nas instalações do Departamento de Geologia da FCUL.

No caso de testemunhos de fácies metavulcânicas, metassedimentares e intrusivas, utilizaram-se como critérios de selecção de amostras, os seguintes: **(i)** representatividade de fácies identificadas durante a etapa de reclassificação de sondagens, atendendo igualmente à representatividade “químio-estratigráfica” no caso particular das unidades metavulcânicas *s.l.*; **(ii)** representatividade dos diversos eventos de alteração, quer do ponto de vista das associações minerais macroscopicamente reconhecíveis, quer dos padrões texturais resultantes dos vários tipos de manifestação da alteração (penetrativa, halos e preenchimentos); **(iii)** evidências de mineralização, na forma de disseminações, condicionada por descontinuidades de natureza diversa, ou outros modos de ocorrência; e **(iv)** modificações pós-pico de deformação/metamorfismo.

No caso dos minérios (semi-)maciços, seleccionaram-se exemplares que registassem: **(i)** variações ao nível da abundância relativa de fases sulfuretadas reconhecíveis macroscopicamente; e **(ii)** modificações pós-deposição, sejam estas de natureza mecânica (sob a forma de bandados e brechas) ou química (sob a forma de remobilizações pós-deformação).

A aplicação dos critérios referidos conduziu a um total de 43 amostras, das quais 23 correspondem a rochas metavulcânicas *s.l.*, 3 a rochas intrusivas, 5 a fácies de natureza quimiogénica e/ou a preenchimentos hidrotermais de estruturas, 3 a fácies metassiliciclásticas, e 9 a intersecções de minério. A listagem de amostras seleccionadas, e respectiva informação relativamente à sua localização nas sondagens e classificações macroscópica e química, pode ser consultada na **Tabela XI.3** em anexo.

### III.6. Processamento laboratorial de amostras

Com base nos 43 exemplares seleccionados, foram produzidas *ca.* 100 taliscas (incluindo duplicados) com serra diamantada e, posteriormente, 49 lâminas delgadas polidas. É de salientar que, pontualmente, foi necessário proceder à realização de duas lâminas polidas por amostra, dada a forte heterogeneidade textural das associações minerais de alteração.

Visando a análise litogeoquímica com FRX convencional, o restante material rochoso foi sujeito a processos de moagem e, subsequentemente, de pulverização, através de, respectivamente, isogranulador (ou moinho de maxilas, no caso de exemplares fortemente mineralizados) e panela de carbureto de tungsténio. Atendendo à quantidade reduzida de amostra de alguns exemplares de minério maciço seleccionados (GS18-3#13, GS18-4#142 e GS19-1#62/63), foi necessário proceder à pulverização das mesmas em panela de *inox*, nas instalações do Departamento de Química da Almina. Note-se que a referência GS19-1#62/63 representa amostra compósita de minério, cujos exemplares correspondem à mesma intersecção de sulfuretos maciços, distanciados 90 cm entre si (GS19-1#62 e GS19-1#63). Nestas circunstâncias, apenas foi realizada lâmina delgada polida de um dos exemplares (GS19-1#63). Igualmente por motivos de insuficiência de volume de material, foi ainda necessário excluir, para efeitos de geoquímica de rocha total, o exemplar GS18-5A#50. A representatividade desta intersecção de

minério maciço, no conjunto das amostras seleccionadas, é assegurada pelo exemplar GS18-5A#51, localizado 50 cm a muro do anterior.

A produção de pastilhas prensadas para efeitos de estudos de rocha total, foi realizada de forma convencional com elvacite (resina) e prensa hidráulica.

Com excepção dos casos acima mencionados, a totalidade das metodologias de processamento de amostras, produção de lâminas polidas e de pastilhas de pó de rocha, foi conduzida de acordo com os procedimentos habituais, nas instalações do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências.

### III.7. Petrografia

A análise petrográfica teve como objectivo principal caracterizar ao microscópio óptico de luz transmitida e reflectida os exemplares amostrados nas 49 lâminas delgadas polidas realizadas, tendo em consideração quer aspectos texturais, quer do ponto de vista das associações minerais, em particular aquelas que documentam manifestações hidrotermais *s.l.*. Sempre que possível, foram igualmente tidas em consideração as relações de cronologia relativa entre preenchimentos de descontinuidades. Posteriormente, todas as características observadas foram sujeitas a registo fotomicrográfico.

### III.8. Química mineral

O estudo de química mineral teve como principal objectivo caracterizar a variabilidade composicional apresentada pelas fases minerais de interesse identificadas nos diferentes litótipos. As análises realizadas incidiram sobre 16 lâminas delgadas polidas, as quais, durante o estudo petrográfico, provaram representar adequadamente características texturais e mineralógicas imputáveis a diferentes graus de intensidade e estádios de evolução associados a episódios hidrotermais *s.l.* distintos.

A aquisição de dados foi realizada na FCUL, com a sonda JEOL-JXA 8200, equipada com 4 espectros WDS, 6 cristais analisadores (LIF, LIFH, PET, PETH, TEP e LDE2) e detectores de electrões secundários e retrodifundidos, tendo ainda acoplado um espectrómetro de dispersão de energia (EDS).

O tratamento dos dados obtidos consistiu no descarte de análises com erro superior a 2% e, subsequentemente, no cálculo de distribuições catiónicas por unidade de fórmula para as diferentes fases minerais. Posteriormente, procedeu-se ao exame dos resultados de estatística descritiva para os diferentes grupos minerais definidos. Nas tabelas que sintetizam os resultados obtidos para cada fase mineral apenas se apresentam elementos químicos com relevância estatística, isto é, aqueles cujos valor de concentração médio ou mediano (respectivamente  $n < 10$  ou  $n \geq 10$ ) é superior ao respectivo limite de detecção. As condições de análise e limites de detecção podem ser consultados em anexo, **Tabela XI.4** a **Tabela XI.15** e **Tabela XI.16** a **Tabela XI.18**, respectivamente. A estatística descritiva e análises representativas para as diferentes fases minerais encontram-se em anexo, **Tabela XI.19** a **Tabela XI.68**.

### III.9. Litogeoquímica

O estudo de geoquímica multi-elementar teve como principal objectivo caracterizar do ponto de vista composicional a alteração e mineralização expressa nas várias litologias intersectadas pelas sondagens. Para o efeito seleccionaram-se 42 exemplares representativos de diferentes fácies (metavulcânicas *s.l.* félsicas e intermédias, intrusivas, metassiliciclásticas e quimiogénicas), incluindo 8 duplicados para efeitos de controlo de qualidade das análises. A obtenção de dados foi realizada nas instalações da FCUL com FRX: equipamento *Zetium (4kW)* da *Malvern Panalytical*, utilizando uma potência de 4kW. As condições de análise e limites de detecção constam das **Tabela XI.69** e **Tabela XI.70**, em anexo.

No que respeita aos minérios, seleccionaram-se 7 amostras, representando diferentes contextos texturais (maciço, semi-maciço, brechificado, *etc.*) e episódios de mineralização, no sentido de estudar a sua variabilidade composicional. A obtenção de dados foi realizada no laboratório certificado *ALS* (Espanha). Os métodos utilizados para leitura dos vários elementos, e respectivos limites de detecção figuram em anexo (**Tabela XI.71**). A informação referente à metodologia de preparação de amostras e procedimentos analíticos constam da **Tabela XI.72**, também em anexo.

#### IV. Produção de secções geológicas interpretativas

A intensa deformação que caracteriza o sector (expressa por dobramentos a diferentes escalas, foliações penetrativas, diversas zonas de falha, numerosos contactos de natureza tectónica, *etc.*) juntamente com o lato conjunto de litologias identificadas, resultam num complexo padrão estrutural que dificulta a reconstituição geológica das linhas de observação proporcionadas pelas sondagens estudadas.

A compilação da totalidade de informação disponível, nomeadamente de carácter macroscópico e geoquímico, permite, contudo, proceder a algumas agregações que facilitam a reconstituição do arranjo espacial das várias unidades litológicas e litostratigráficas. Desta forma, as secções geológicas interpretativas (SGI) e respectivas colunas “químio-estratigráficas” apresentadas nas **Figura IV.7** a **Figura IV.10**, seguindo a legenda da **Figura IV.6**, representam o produto final da conjugação da informação obtida durante a reclassificação das sondagens e interpretação dos dados geoquímicos de FRX-P.

##### IV.1. Tratamento de dados de FRX-P

O tratamento estatístico dos dados multi-elementares adquiridos com FRX-P para cada uma das sondagens permitiu transformar as 592 leituras obtidas em 228 análises reconstruídas, através da estimação de concentrações elementares médias referentes às séries de três análises (amostra de testemunho seleccionada, topo e muro); nos casos em que tal não foi possível, consideraram-se apenas as duas medições existentes. Assim, obteve-se um total de 39, 104, 46 e 39 análises reconstruídas referentes às sondagens, respectivamente, GS-18003, GS-18004, GS-18005A e GS-19001.

Com base nos valores médios de concentração elementar procedeu-se à comparação sistemática das razões de óxidos elementares, considerando igualmente alguns elementos menores. Este tratamento numérico permitiu ainda sistematizar as diferentes fácies metavulcânicas *s.l.*, previamente identificadas durante a etapa de reclassificação de sondagens, em grupos litológicos composicionalmente diferentes entre si, fazendo uso de elementos com comportamento geoquímico tendencialmente imóvel.

##### IV.2. Conjugação de informação macroscópica e geoquímica

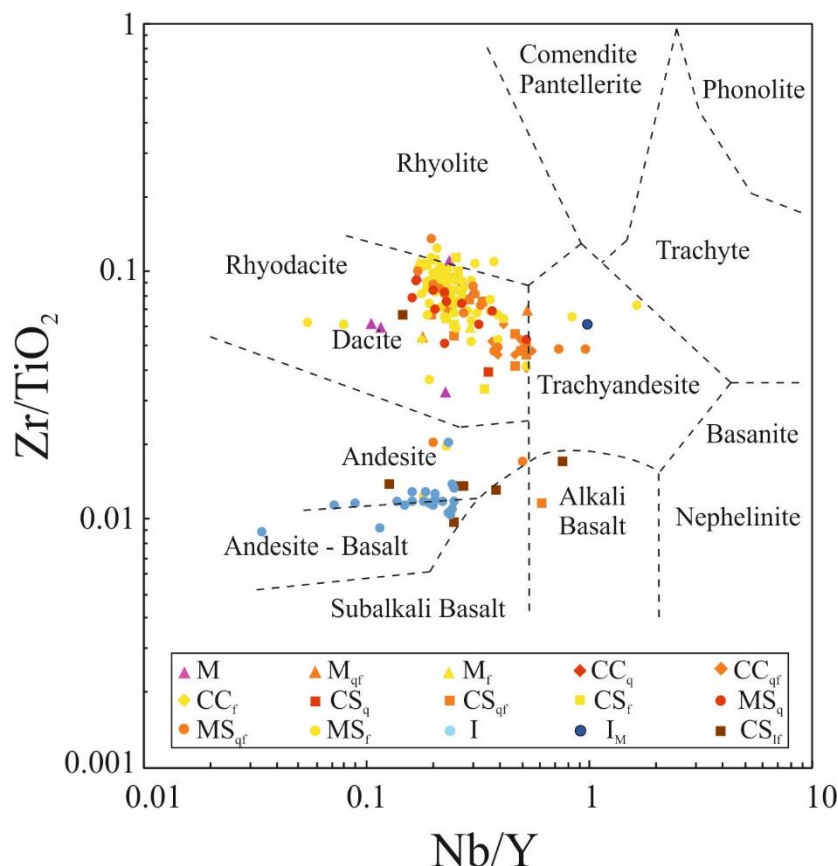
De acordo com as razões Zr/TiO<sub>2</sub> e Nb/Y (**Figura IV.1**) verifica-se que, de modo geral, as unidades metavulcânicas *s.l.* de natureza félsica (**Figura III.1**) apresentam afinidades riodacíticas e dacíticas. Contrariamente, a fácies **CS<sub>fr</sub>** apresenta valores de Zr/TiO<sub>2</sub> mais baixos, os quais, conjuntamente com os valores obtidos para a razão Nb/Y, indicam afinidades para com fontes de natureza intermédia a máfica, à semelhança das unidades intrusivas analisadas.

Desta forma, confirma-se a presença de dois grandes grupos litológicos. O primeiro de natureza félsica, no qual se incluem as unidades metavulcânicas, independentemente das suas características macroscópicas, texturais e mineralógicas (primárias e de alteração). O segundo de natureza intermédia a máfica, englobando tanto a fácies **CS<sub>fr</sub>** como as unidades do tipo **I**. Neste contexto, importa salientar que algumas análises de fácies metavulcanoclásticas félsicas apresentam desvios, nomeadamente em direcção ao *cluster* que define o espectro de valores para as razões Zr/TiO<sub>2</sub> e Nb/Y característico das fácies de natureza intermédia a máfica. Embora o mesmo possa ser explicado recorrendo a erros de natureza analítica e/ou de classificação macroscópica de fácies, é igualmente importante considerar a possibilidade de algumas unidades vulcânicas, em particular do tipo MS, incorporarem fragmentos de material de origem diversa (vulcânica ou outra), resultando em assinaturas mistas. Importa referir que estas análises correspondem a troços de sondagem que registam efeitos intensos de carbonatação e sericitização, sob a forma de halos localizados de alteração sericítico-carbonatada, a qual se encontra (nas sondagens sujeitas a reclassificação macroscópica detalhada) tipicamente associada às unidades intrusivas e metavulcanoclásticas de natureza intermédia a máfica (fácies **I** e **CS<sub>fr</sub>**). Tal poderia sugerir que o decréscimo da razão Zr/TiO<sub>2</sub> apresentado por estas unidades pudesse ser explicado através da (i) ocorrência de forte alteração sericítico-carbonatada, a qual seria *per se* responsável pelo decréscimo da razão Zr/TiO<sub>2</sub>, ou (ii) proximidade a unidades de natureza intermédia a máfica, em particular do tipo **I**,



que não tenham sido intersectadas na sondagem, embora registem evidências deste tipo de alteração, sendo assim responsável pela génese de halos pervasivos o suficiente para afectar unidades adjacentes quimicamente distintas. Contudo, ambas estas hipóteses foram descartadas, atendendo tanto à fraca mobilidade do Ti e do Zr no decorrer da alteração hidrotermal característica destes sistemas, como à improvável modificação da razão  $Zr/TiO_2$  como resultado de eventuais processos de lixiviação que possam conduzir à diluição destes elementos.

De acordo com o diagrama da **Figura IV.1**, verifica-se igualmente que a fácies **I<sub>M</sub>**, previamente classificada como unidade de natureza máfica, se projecta no campo traqui-andesítico.



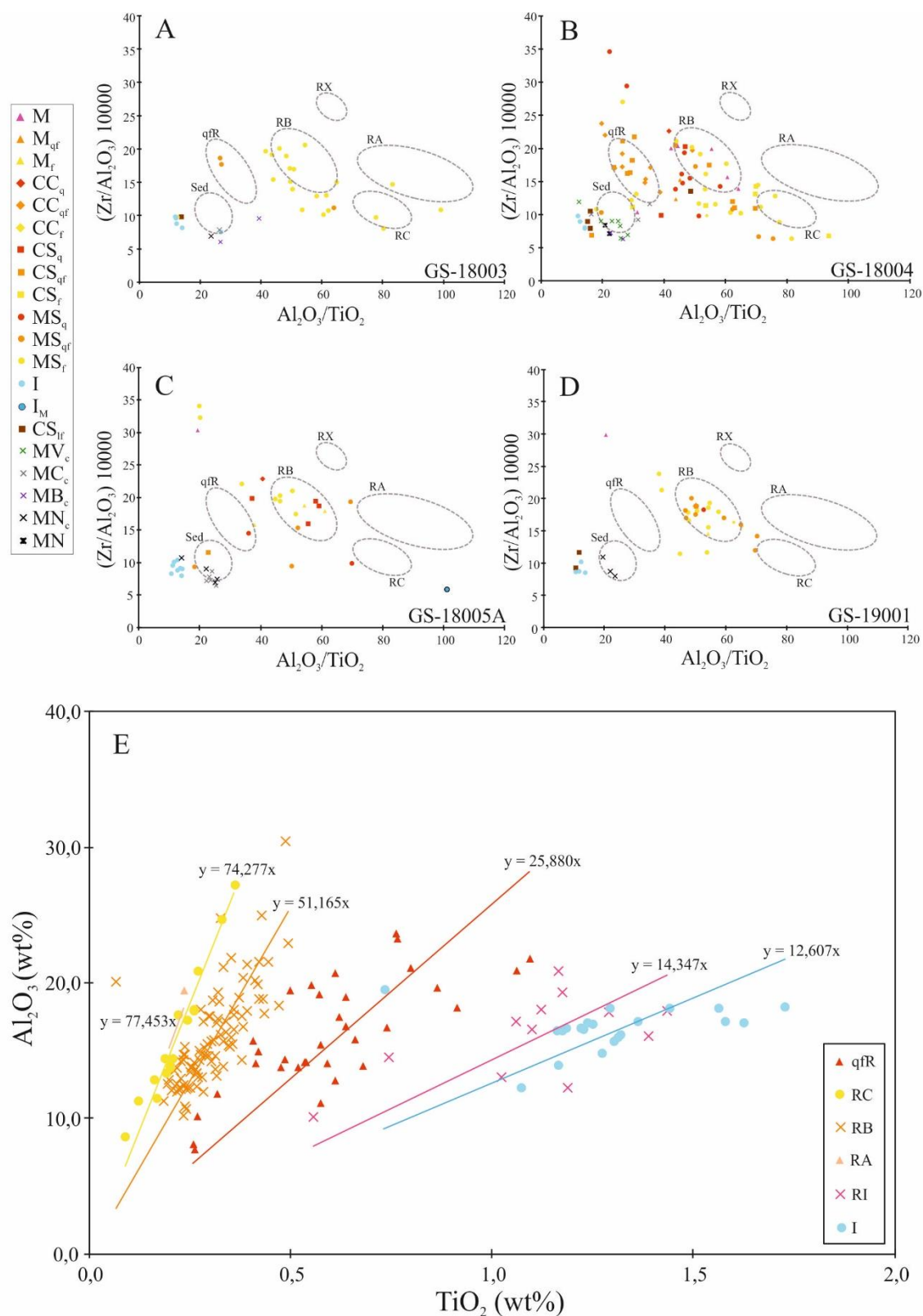
**Figura IV.1** – Projecção das razões  $Zr/TiO_2$  vs.  $Nb/Y$  fazendo uso das leituras obtidas com FXR-P para as fácies metavulcânicas *s.l.* e intrusivas. Adaptado de Winchester & Floyd (1977).

#### IV.2.1. Nomenclatura química

A aplicação de metodologias de litogeoquímica a unidades hospedeiras do depósito de Feitais, conduziu à identificação de cinco tipos principais de rochas félsicas (Barrett *et al.*, 2008). O tratamento destes dados e a sua posterior integração no contexto estrutural da região de Feitais, culminou na proposta de uma sequência “químio-estratigráfica” constituída da base para o topo por: **qfR**, **RX**, **RA**, **RB** e **RC**. Todas as rochas félsicas identificadas correspondem a unidades extrusivas, com excepção da **qfR** que, segundo Barrett *et al.* (2008), corresponderá a um pórfiro. Esta sucessão de rochas félsicas é, posteriormente, sobreposta por uma sequência de natureza maioritariamente metassedimentar, marcada pela presença de fácies quimiogénicas (chertes *s.l.*) e metapelíticas da Fm. do Paraíso, às quais se sobrepõem as sequências do *Culm*. No sector estudado por Barrett *et al.* (2008) não foram identificadas fácies extrusivas de natureza intermédia a máfica.

À semelhança dos trabalhos publicados por Barrett *et al.* (2008), o cálculo de razões entre elementos com comportamento tendencialmente imóvel, permitiu identificar no sector W de Gavião diferentes conjuntos de rochas com composições semelhantes entre si.





**Figura IV.2** – (A), (B), (C) e (D) Projecções dos dados obtidos com FRX-P no gráfico  $(Zr/Al_2O_3)10000$  vs.  $Al_2O_3/TiO_2$  relativos às sondagens, respectivamente, GS-18003, GS-18004, GS-18005A e GS-19001. As envolventes assinaladas representam os *clusters* dos 5 principais tipos de rochas identificados na região de Feitais por Barrett *et al.* (2008) no âmbito dos trabalhos desenvolvidos no período entre 2008 e 2010, e que são hoje pertença da Almina. (E) corresponde à projecção dos dados obtidos com FRX-P, para a totalidade das análises realizadas nas quatro sondagens, no gráfico  $Al_2O_3$  vs.  $TiO_2$ .

Relativamente às unidades félsicas, o gráfico  $(Zr/Al_2O_3)10000$  vs.  $Al_2O_3/TiO_2$ , sugere a presença de quatro dos cinco principais tipos de rochas (**qfR**, **RA**, **RB** e **RC**) definidos para a região de Feitais (**Figura IV.2a,b,c,d**). Note-se que, embora a aplicação destas metodologias sugira a presença da rocha **qfR** na sequência encaixante do depósito de Gavião, esta corresponde aqui a uma unidade de natureza vulcânica, e não plutónica, como descrito por Barrett *et al.* (2008). Por outras palavras, o paralelismo assenta na afinidade geoquímica e não em características texturais ou outras.

Embora não se verifique correlação sistemática entre a classificação macroscópica prévia das unidades metavulcânicas *s.l.* félsicas e respectivas assinaturas geoquímicas, tal não se aplica a fácies de natureza intermédia a máfica, assim como aos metassedimentos, os quais apresentam razões  $Al_2O_3/TiO_2$  e  $Zr/Al_2O_3$  tendencialmente próximas entre si (**Figura IV.2a,b,c,d**).

Desta forma, observando os gráficos da **Figura IV.2**, verifica-se que a aplicação destas metodologias de litogeoquímica permite, de forma expedita, distinguir quimicamente diferentes unidades rio-dacíticas, e que esta separação não corresponde necessariamente à que se obtém com base em características macroscópicas. Note-se que se manteve a nomenclatura definida por Barrett *et al.* (2008) para a classificação das rochas félsicas (**Figura IV.2e**), à qual se adicionou as denominações **I** e **RI** referentes às fácies **I** e **CS<sub>fr</sub>**, respectivamente.

Com base nos resultados obtidos após tratamento dos dados de FRX-P foi então possível proceder ao paralelismo entre a classificação macroscópica e a nomenclatura “química”. Pese embora a robustez da amostragem geoquímica, como referido anteriormente, nem sempre foi possível a obtenção de leituras para todos os sectores definidos durante a reclassificação de sondagens. Assim, foi necessário recorrer ao registo das observações macroscópicas, nomeadamente no que respeita à natureza dos contactos entre sectores contíguos onde apenas um deles tenha sido sujeito a análise.

#### *IV.2.2. Descrição de sondagens*

O resumo descritivo das sondagens reclassificadas pode ser consultado em anexo (secção XI.1.1.).

##### *IV.2.2.1. Preâmbulo*

As sondagens estudadas cortam inicialmente *ca.* de 60 a 75m de cobertura de idade cenozóica. Após esta profundidade, são intersectadas fácies metavulcânicas *s.l.* e metassedimentares *s.l.*, pertencentes ao CVS, marcando o início do soco paleozóico (**Figura IV.7** a **Figura IV.10**).

De forma geral, as sondagens caracterizam-se por numerosas intersecções de diferentes fácies que ocorrem sob a forma de troços com espessura muito variável, justapostos por meio de dobramentos de diferentes ordens e estruturas frágeis (laminação e empilhamento tectónico) (**Figura IV.7** a **Figura IV.10**). A caracterização macroscópica destas fácies, em conjunto com a intensa deformação que caracteriza o sector em estudo, resulta num complexo padrão estrutural que dificulta a reconstituição das linhas de observação geológica proporcionadas pelas sondagens. Neste sentido, o reconhecimento da existência de uma sequência quimio-estratigráfica permite eliminar alguns graus de liberdade no processo de produção de SGI, especialmente quando esta é maioritariamente constituída por rochas metavulcanoclásticas em sentido lato (**Figuras IV.7** a **Figura IV.10**).

A sequência intersectada pelas quatro sondagens sugere que as fácies metavulcânicas félsicas, em particular as de natureza clástica, dominam largamente sobre as restantes litologias identificadas. Contrariamente, as fácies metassedimentares (siliciclásticas ou quimiogénicas), unidades intrusivas e metavulcânicas félsicas coerentes (lavas) e metavulcanoclásticas intermédias, encontram-se claramente sub-representadas (**Figura IV.7** a **Figura IV.10**).

##### *IV.2.2.2. Estratigrafia*

No que respeita à sequência quimio-estratigráfica que caracteriza a área amostrada pelas sondagens, esta é composta, da base para o topo, por:

- **qfR** – unidade metavulcânica *s.l.* félsica, caracterizada por um conjunto de fácies com variações significativas de natureza textural (desde coerentes a clásticas com importante retrabalhamento sedimentar). Esta detém maior expressão no domínio SW, em particular, nos troços mais profundos das sondagens GS-19001 e GS-18005A;

- **RA** – unidade metavulcanoclástica félsica, cuja presença apenas foi identificada nos domínios S e W da área intersectada pelas sondagens GS-18003 e GS-18005A. Estas ocorrências associam-se a sucessões vulcanogénicas relativamente pouco espessas e com características muito particulares. No primeiro caso, os troços analisados documentam a presença de domínio sujeito a cloritização extrema (“cloritito”) (**Figura IV.7 d1 a d5**). No segundo caso, os troços analisados correspondem a um domínio fortemente alterado, destacando-se a progressão de processos de cloritização algo intensos que concorrem para o desenvolvimento de uma matriz (essencialmente clorítica) de tonalidade negra.

- **RB** – unidade metavulcânica *s.l.* félsica, caracterizada por um conjunto de fácies que registam importantes variações de natureza textural (desde coerentes a clásticas com retrabalhamento sedimentar bastante significativo). Corresponde à unidade química com maior expressão nas sondagens reclassificadas. O(s) horizonte(s) mineralizado(s) aparenta(m) estar associado(s), tanto a topo como a muro, a esta unidade ou à transição que a mesma estabelece com a unidade **qfR** acima descrita.

- **RI** – unidade metavulcanoclástica intermédia com reduzida continuidade lateral. Esta é mais expressiva no domínio central da sondagem GS-18004, embora apenas se estenda de forma significativa para SE (sondagem GS-18003). No domínio NW, a unidade **RI** apenas é intersectada nas sondagens GS-19001 e GS-18005A em troços com muito reduzida expressão (cm a m), associados a zonas de falha ou na proximidade de unidades intrusivas.

- **RC** – unidade metavulcânica *s.l.* félsica, com expressão ao longo de quase toda a sequência cortada pelas sondagens estudadas, exceptuando o domínio sul da área, na sondagem GS-18003, onde tal não se verifica.

- **qfR II** – unidade metavulcânica *s.l.* félsica que ocorre maioritariamente sob a forma de fácies clásticas com diferentes graus de retrabalhamento sedimentar. Esta unidade detém maior expressão no domínio mais a norte (sondagem GS-18004) da área estudada, prolongando-se para SSE (GS-18003). A existência desta unidade não descrita por Barrett *et al.* (2008), embora quimicamente equiparável a **qfR**, é inferida, mercê da sua posição geométrica relativa à sucessão acima descrita (estratigraficamente acima nas sondagens). A premissa de que esta unidade corresponda à anteriormente descrita **qfR**, implicaria necessariamente invocar a presença de um importante acidente tectónico, o qual seria responsável pela sua posição actual nas sondagens, relativamente à restante sequência metavulcânica *s.l.*. Contudo, a reclassificação de sondagens efectuada não permitiu colocar em evidência flechas de movimento significativas nos troços correspondentes às estruturas frágeis identificadas imediatamente a muro desta unidade (**Figura IV.7** e **Figura IV.8**). Note-se, porém, que evidências para o efeito poderão estar a ser total ou parcialmente obliteradas pela instalação de unidades intrusivas de natureza intermédia a máfica (sondagens GS-18003 e GS-18004).

A topo da unidade **qfR II** ocorrem fácies metapelíticas, pontualmente intercaladas com níveis metavulcanoclásticos finos, correspondentes à Fm. do Paraíso/Gavião. Estas rochas apresentam colorações diversas (verde, borra de vinho, cinzento e negro) e variações na componente detrítica dominante (pelítica ou psamítica). A sucessão metassedimentar encontra-se melhor preservada no domínio N da área intersectada pelas sondagens (GS-18004), estratigráfica e estruturalmente acima da unidade **qfR II**, embora aparente encontrar-se separada desta por meio de um (importante?) acidente tectónico (**Figura IV.8**).

A presença de fácies metapelíticas é igualmente observável a maior profundidade; a título de exemplo vejam-se as sondagens GS-18003 e GS-18005A (**Figura IV.7** e **Figura IV.9**). No primeiro caso, embora a maior profundidade, os metapelitos encontram-se acima das sequências vulcânicas, sendo truncados a

topo por um acidente tectónico importante. Na sondagem GS-18005A, a interpretação é dificultada, pela intensa deformação das fácies metapelíticas; presumivelmente, este empilhamento tectónico será responsável pela colocação das unidades vulcânicas a topo das rochas metassedimentares.

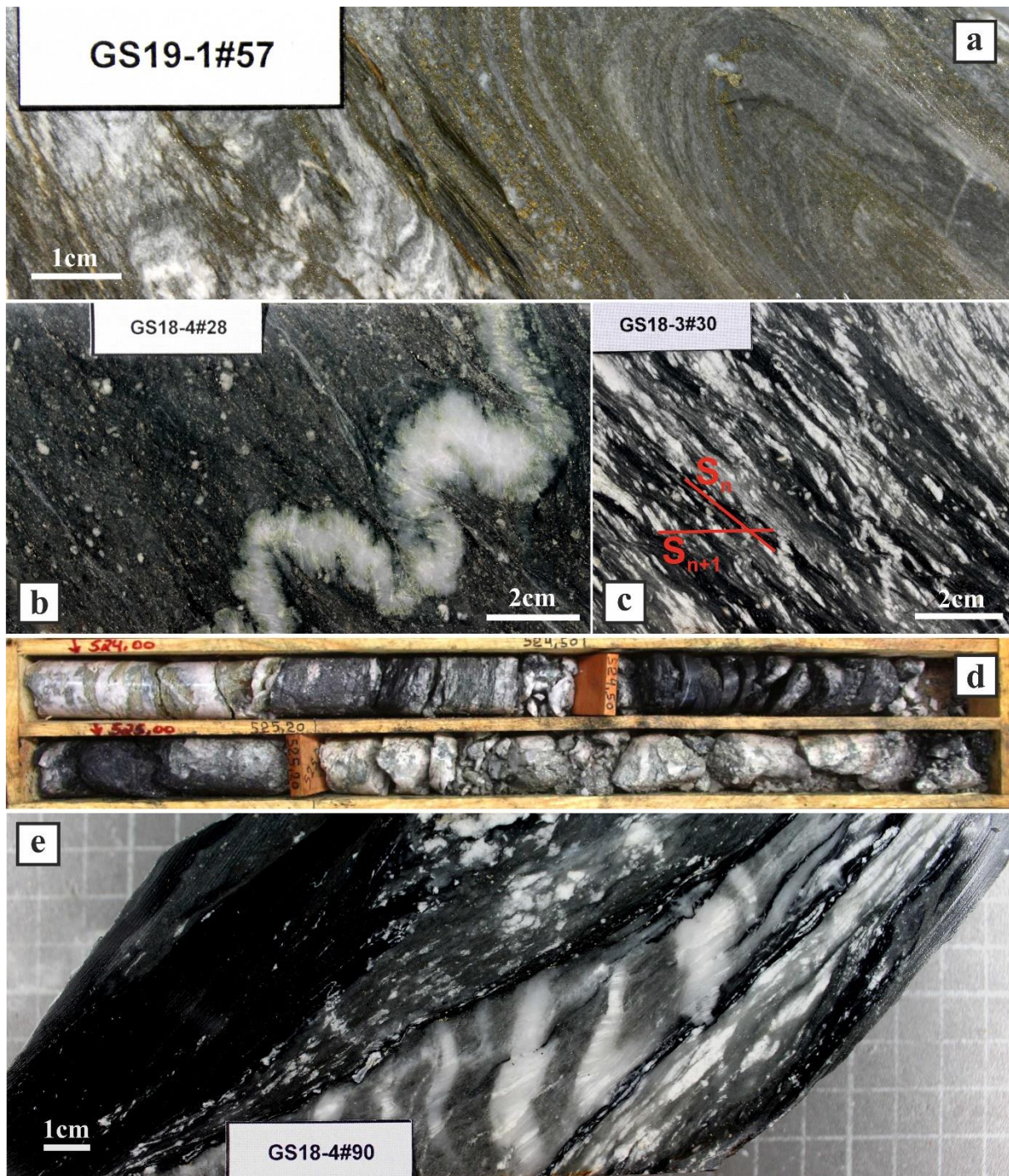
As fácies quimiogénicas são pouco abundantes nas sondagens reclassificadas. Destaca-se, contudo, na sondagem GS-18005A, a presença de material silicioso micro- a cripto-cristalino, interpretado como correspondendo a cherte *s.l.*, preservado no seio de um troço que corta uma unidade intrusiva (**Figura IV.9**). Salienta-se ainda, na sondagem GS-18003, a presença de troços centimétricos de jaspe (posteriormente brechificado). Esta intersecção poderá corresponder à base da Fm. do Paraíso que, neste caso, se encontra estruturalmente abaixo da sequência vulcânica *s.l.*, resultado da imbricação tectónica. A presença de unidades intrusivas é comum em todas as sondagens, ocorrendo geralmente sob a forma de intersecções espessas. A instalação destas unidades aparenta relacionar-se preferencialmente com descontinuidades estruturais pré-existentes, algumas das quais com possível movimentação associada.

#### IV.2.2.3. Deformação

Os efeitos da deformação Varisca são bastante evidentes ao longo das quatro sondagens e encontram-se expressos sob a forma de: **(i)** dobramentos de amplitude variável, deduzidos com base na variação espacial e alternância de flancos normais e inversos, documentados por critérios de polaridade, seja sob a forma de contactos erosivos ou através da relação angular entre  $S_0$  e  $S_1$ , seja por evidências de deposição granulométrica, presença de figuras de carga ou, ainda, por brechificação resultante de instalação de corpos intrusivos. Localmente, observam-se dobramentos de pequena amplitude afectando tanto preenchimentos hidrotermais de espessura variável como pontuais níveis metavulcânicos (**Figura IV.3a,b**); **(ii)** abundantes zonas de falha, que marcam transições entre sectores contíguos, embora nem sempre correspondendo a contactos entre litologias e/ou fácies distintas. Estas zonas caracterizam-se por intensa cataclase, brechificação e desenvolvimento de numerosas descontinuidades planares, geralmente sublinhadas por preenchimentos minerais de natureza diversa, que resultam na justaposição de fácies e/ou litologias distintas (**Figura IV.3d,e**); e **(iii)** foliação tectónica no caso de fácies metavulcanoclásticas e xistosidade ou foliação penetrativa, consoante a abundância da componente psamítica, no caso de fácies metapelíticas ( $S_0$  geralmente transposto por  $S_1$ ). No primeiro caso, a foliação é materializada pelo alinhamento e, não raramente, estiramento dos mineraloclastos de maior dimensão (**Figura IV.3c**) e, pontualmente, dos megacristais de Fsp; **(iv)** abundantes falhas intra-sectoriais, pontualmente com evidências de brechificação e cataclase importantes; e **(v)** contactos de natureza tectónica, principalmente quando associados às fácies metavulcanoclásticas e metapelíticas. Estes encontram-se materializados por descontinuidades (seladas ou não), em parte possivelmente associados a pequenas retomas tectónicas de contactos inicialmente normais (graduais, erosivos, *etc.*).

Embora se registem numerosos contactos de natureza tectónica, as transições graduais são localmente abundantes e encontram-se marcadas por variações, por vezes subtis, de carácter: **(i)** textural, nomeadamente no que respeita os arranjos minerais das associações macroscopicamente reconhecíveis que compõem as diferentes fácies; **(ii)** mineralógico, *i.e.*, de abundância relativa das diferentes fases minerais que compõem a rocha, *e.g.* abundância relativa de fenocristais e/ou mineraloclastos, no caso de unidades metavulcânicas *s.l.* e intrusivas, ou predominância de componente psamítica *vs.* pelítica, no caso de fácies metassiliciclásticas; ou **(iii)** misto, representando a conjugação de ambos os pontos acima descritos. A título de exemplo, veja-se a percentagem relativa de retrabalhamento sedimentar de fácies metavulcânicas de natureza clástica.





**Figura IV.3** – (a) e (b) Dobramento de pequena amplitude afectando, respectivamente, nível metavulcânico mineralizado e preenchimento hidrotermal. (c) Crenulação ( $S_{n+1}$ ) sobreposta a  $S_n$ . (d) Exemplo de zona de falha: forte cominuição do material rochoso, numerosos contactos tectónicos entre diferentes fácies, alguns apresentando preenchimentos minerais de natureza diversa. (e) Exemplo de falha: descontinuidades planares que rejeitam preenchimentos de natureza diversa, cominuição do material rochoso e localmente estiramento de elementos da rocha.

#### IV.2.2.4. Alteração

As observações realizadas nas quatro sondagens documentam múltiplos eventos de alteração registados pelas diferentes litologias e fácies intersectadas. Contudo, os efeitos destes eventos são consideravelmente mais evidentes quando associados às fácies metavulcânicas clásticas, por oposição às fácies lávicas, metapelíticas e intrusivas, de alguma forma reflectindo a importância dos contrastes de permeabilidade na progressão das frentes de reacção química.

Os efeitos de alteração *s.l.* são transversais a todas as sondagens reclassificadas e manifestam-se tanto sob a forma de preenchimentos de descontinuidades com morfologias e orientações diversas, a partir das quais se desenvolvem halos locais (frentes de alteração), bem como através de associações minerais secundárias que afectam a matriz das várias litologias (*background alteration*). Não obstante a relativa uniformidade das associações minerais de alteração reconhecíveis macroscopicamente, quando conjugados ambos os modos de manifestação dos eventos de alteração (preenchimentos, halos ou tipo *background*), estes resultam em padrões texturais fortemente heterogéneos entre diferentes domínios.

Os eventos de cloritização são bastante evidentes e expressam-se tanto sob a forma de preenchimentos de descontinuidades de natureza diversa, tipicamente com  $Qz \pm Fsp \pm Ser \pm Cb \pm$  sulfuretos associados (**Figura IV.4b,d,e**), bem como substituindo de forma penetrativa a matriz pelítica das rochas de natureza metavulcanoclástica e, com menor frequência, metassedimentares (**Figura IV.4c**). No que respeita às rochas intrusivas, os processos de cloritização encontram-se igualmente marcados pela substituição parcial dos fenocristais de anfíbola e/ou piroxena.

Os múltiplos eventos de silicificação manifestam-se, geralmente, sob a forma de: (i) preenchimentos de descontinuidades (ante- e pós-deformação), tipicamente acompanhados da deposição de fases como Chl, Ser, Cb, Fsp e sulfuretos, em proporções muito variáveis (**Figura IV.4b,e**); (ii) alinhamentos (mm) de Qz muito fino, orientados segundo planos (sub-)paralelos à foliação e/ou xistosidade. Nas fácies metavulcanoclásticas este processo é mais evidente, dada a importante penetratividade dos alinhamentos que conduz, localmente, à génese de bandas (com espessura variável) de forte silicificação, responsáveis pela obliteração local da textura da rocha (**Figura IV.4a**); e (iii) caudas de Qz muito fino, possivelmente imputáveis a processos de alteração (de mineraloclastos e/ou fenocristais) síncronos da deformação.

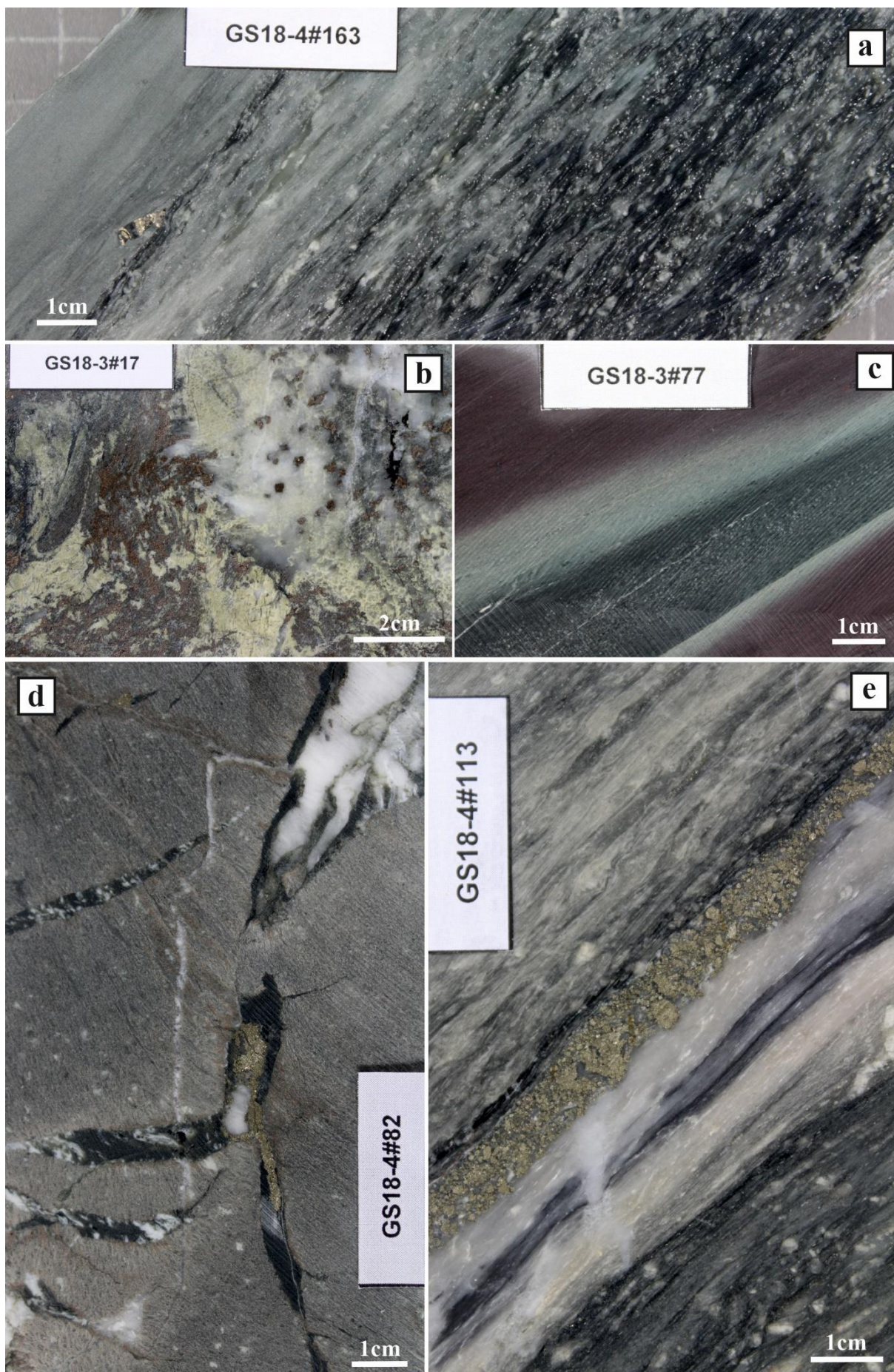
A presença de Fsp resultante de eventos de alteração *s.l.* é comumente observável sob a forma de preenchimentos ante- a pós-deformação, geralmente acompanhados da associação  $Qz \pm Chl \pm Cb \pm Ser \pm$  sulfuretos. Menos frequentemente, os eventos de feldspatização encontram-se expressos através da génese de grãos euédricos a subédricos de reduzida dimensão, e/ou de agregados muito finos, no seio da matriz das fácies metavulcânicas *s.l.* e, mais raramente, das rochas de natureza intrusiva, tipicamente evidenciando características pós-deformação (*e.g.* orientação discordante do *fabric* matricial e/ou associados halos de alteração resultantes de preenchimentos pós-deformação); apresentam tonalidade ligeiramente distinta da que caracteriza os mineraloclastos e/ou fenocristais que compõem a rocha.

Não raramente observam-se ainda processos de feldspatização ante-deformação, expressos pelo desenvolvimento de megacristais de Fsp, com dimensão muito variável, desde poucos milímetros, noutros casos chegando a atingir 5 cm (**Figura IV.8a**). A sua génese encontra-se restrita às fácies metavulcânicas *s.l.* félsicas, tipicamente em torno de núcleos de Fsp e, mais raramente, de Qz.

Os eventos de sericitização manifestam-se de forma semelhante aos descritos para os processos de cloritização, embora geralmente de forma menos expressiva que estes últimos, principalmente no que respeita aos fenómenos que afectam a matriz pelítica das fácies metassedimentares e metavulcanoclásticas (*background alteration*). Nos casos em que estes eventos se encontram melhor representados e, em particular, quando associados à matriz das fácies metavulcânicas menos coerentes, é comum observar-se a presença de bandados composicionais, caracterizados por alternância rítmica de bandas ricas em Chl ou em Ser (**Figura IV.4e**).

É igualmente relevante salientar que, associada às rochas de natureza intermédia e, muito pontualmente, às fácies metavulcânicas *s.l.*, se observa a substituição da matriz pela associação Ser + Cb (alteração sericítico-carbonatada ou carbonato-sericítica), a qual confere tonalidade bege acastanhada à mesma. Estes eventos são geralmente muito penetrativos, embora localmente se observe o desenvolvimento de frentes de alteração pouco expressivas, caracterizadas pela mesma associação mineral, na dependência de descontinuidades. Nestes locais, observa-se por vezes o desenvolvimento de pequenos grãos de Ep substituindo possíveis fenocristais e/ou preenchendo vesículas e fracturas discretas (**Figura IV.7a**).





**Figura IV.4** – (a) Banda de silicificação afectando fácies metavulcanoclástica, com consequente obliteração da textura da rocha. (b) Preenchimento hidrotermal de Qz + Ser + sulfuretos. (c) Frente de cloritização com halo de sericitização associado afectando fácies metapelítica do tipo MBc. (d) Preenchimentos hidrotermais de Chl + Qz + sulfuretos. (e) Veio mineralizado em fácies metavulcanoclástica com alternância de bandas rítmicas marcadas por proporções distintas das componentes Ser e Chl que afectam a matriz.

Algumas intersecções de fácies metavulcanoclásticas félsicas registam efeitos de processos de alteração que conferem tonalidade avermelhada à matriz fina das mesmas, documentando disseminações de (hidr)óxidos de ferro, por vezes com sinal magnético (**Figura IV.7e**). Estes domínios são igualmente caracterizados por ausência (macroscópica) de fases sulfuretadas, com excepção de um troço na sondagem GS-18005A, onde se regista a presença local de abundantes recristalizações euédricas de Py sobrepostas à matriz (**Figura IV.9g**).

A presença de Cb é comum, associando-se aos eventos anteriormente descritos, ou desenvolvendo preenchimentos de estruturas tardias (pós-deformação) com dimensão variável (mm a cm) que afectam indiscriminadamente todas as fácies. Relativamente a estas últimas, é comum a presença de texturas de crescimento em espaço aberto, às quais se associa, pontualmente, Ccp.

Importa ainda salientar na sondagem GS-18005A, em estreita associação com fácies quimiogénicas, a presença de fases minerais de natureza indeterminada (com tonalidades diversas, desde vermelha, laranja, a esverdeada) e sinal magnético evidente. Estas fases são controladas por micro-fracturas que cortam a massa siliciosa, originando padrões texturais fortemente heterogéneos (**Figura IV.9a1,a2**).

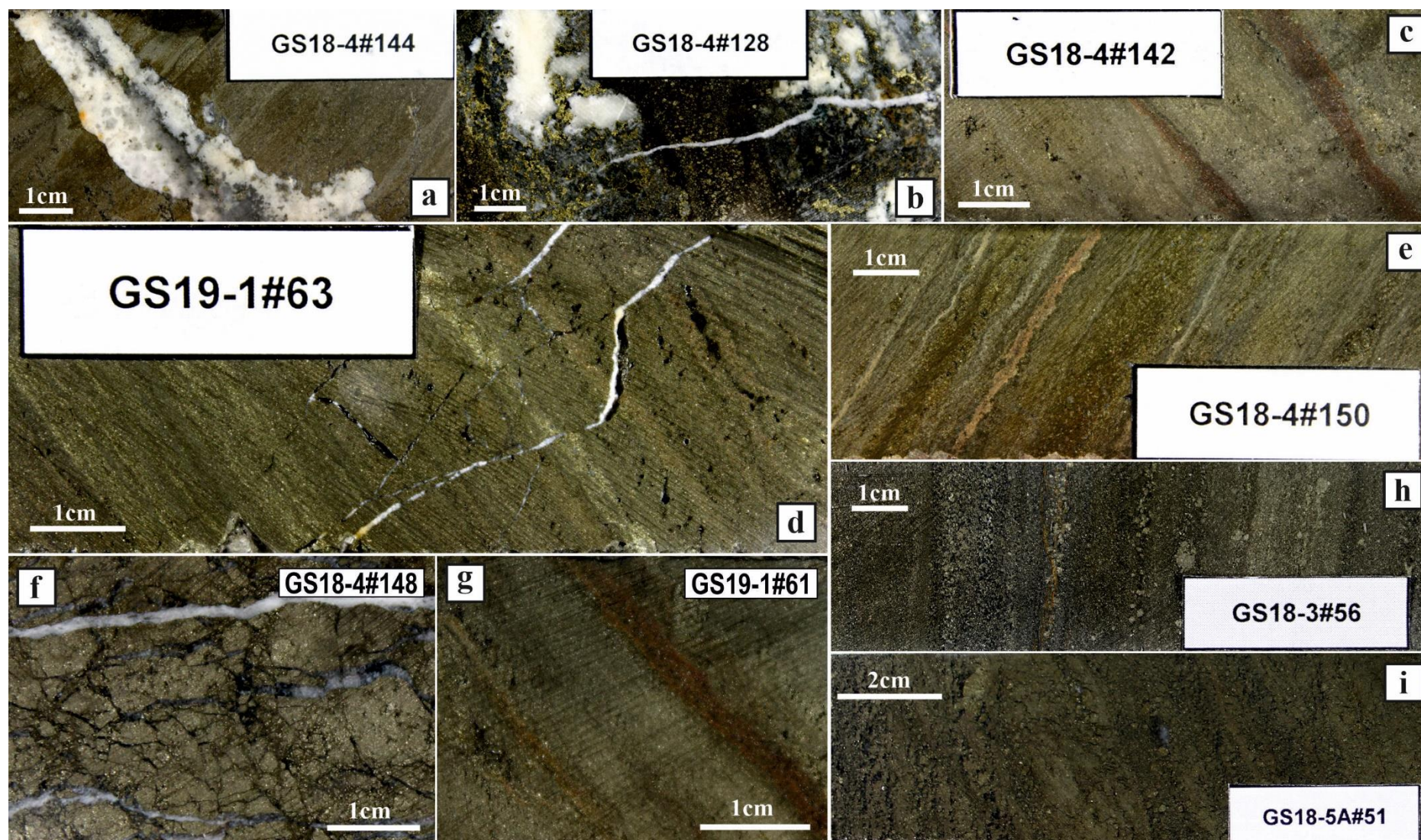
#### IV.2.2.5. Mineralização

A presença de fases sulfuretadas é comum ao longo das diversas fácies identificadas nas quatro sondagens. Estas são tendencialmente mais abundantes quando associadas a fácies metavulcânicas *s.l.* félsicas, em particular de natureza clástica (embora não se encontrem restritas a estas), e ocorrem sob a forma de: (i) alinhamentos (mm) de grãos e/ou agregados finos de Py  $\pm$  Ccp, geralmente (sub-)paralelos à foliação; (ii) disseminações de Py no seio da matriz fina das fácies metassedimentares e metavulcanoclásticas sob a forma de grãos euédricos (< 1 mm) e/ou agregados finos. No caso particular das fácies metassedimentares é comum a presença de Py sob a forma de frambóides e de recristalizações euédricas, estas últimas geralmente de dimensão considerável (mm a cm); (iii) preenchimentos (mm a cm) de fracturas com desenvolvimento ante- a pós-deformação, contendo grãos e/ou agregados muito finos de Py  $\pm$  Ccp que acompanham a associação Qz  $\pm$  Fsp  $\pm$  Chl  $\pm$  Ser  $\pm$  Cb; (iv) processos de impregnação localmente penetrativos (**Figura IV.8c** e **Figura IV.9d**), pontualmente resultando em bandados que reflectem variações granulométricas ou de abundância relativa de fases sulfuretadas responsáveis pela obliteração quase completa da textura original das fácies metavulcanoclásticas e, mais raramente, metapelítica negra e lávica; neste contexto, a Py é largamente dominante, embora seja possível observar em alguns troços de sondagem quantidades apreciáveis de Sp  $\gg$  Ccp  $\gg$  Po, sendo as duas primeiras claramente posteriores à Py; e (v) grãos e/ou agregados finos de Py  $\pm$  Po associados tanto a agregados de Chl que, no caso das rochas intrusivas, substituem fenocristais de anfíbola e/ou piroxena ou preenchem vesículas e descontinuidades com Qz associado (**Figura IV.9c**).

Para além da presença quase ubíqua de fases sulfuretadas ao longo das diferentes litologias e fácies identificadas, a ocorrência de eventos mineralizantes produtivos encontra-se igualmente marcada pelas lentículas de sulfuretos maciços intersectadas pelas sondagens (**Figura IV.5**).

Estas lentículas caracterizam-se, de forma geral, pela presença de abundante Py sob a forma de grãos e/ou agregados finos a muito finos, que materializam bandados tectónicos ou, possivelmente, primários que marcam variações, por vezes subtis, de carácter granulométrico e/ou de abundância de fases minerais sulfuretadas (Py  $\pm$  Sp) entre bandas (**Figura IV.5c,d,e,g,h,i**). Nestes contextos, a Ccp é largamente subordinada e ocorre sob a forma de agregados que preenchem descontinuidades (mm) que cortam os bandados ou se associam a zonas de brechificação, acompanhada da associação Cb  $\pm$  Qz, o primeiro mineral evidenciando texturas de crescimento em espaço aberto (**Figura IV.5a,b**).





**Figura IV.5** – (a) e (b) Descontinuidades tardias de  $Cb \pm Qz$  mineralizadas em Ccp. (c), (d), (e) e (g) Intersecções de minérios maciços bandados (mais ou menos tectonizados) com alternância de bandas ricas em Py com granularidades distintas e Sp. Em (d), o minério bandado é afectado por descontinuidades tardias preenchidas por Cb. (f) Brechificação local de minério maciço por rede de fracturas preenchidas por Cb. (h) Minério bandado essencialmente pirítico, marcado por alternância de níveis com granularidades distintas de Py. (i) Minério bandado semi-macício, essencialmente pirítico.

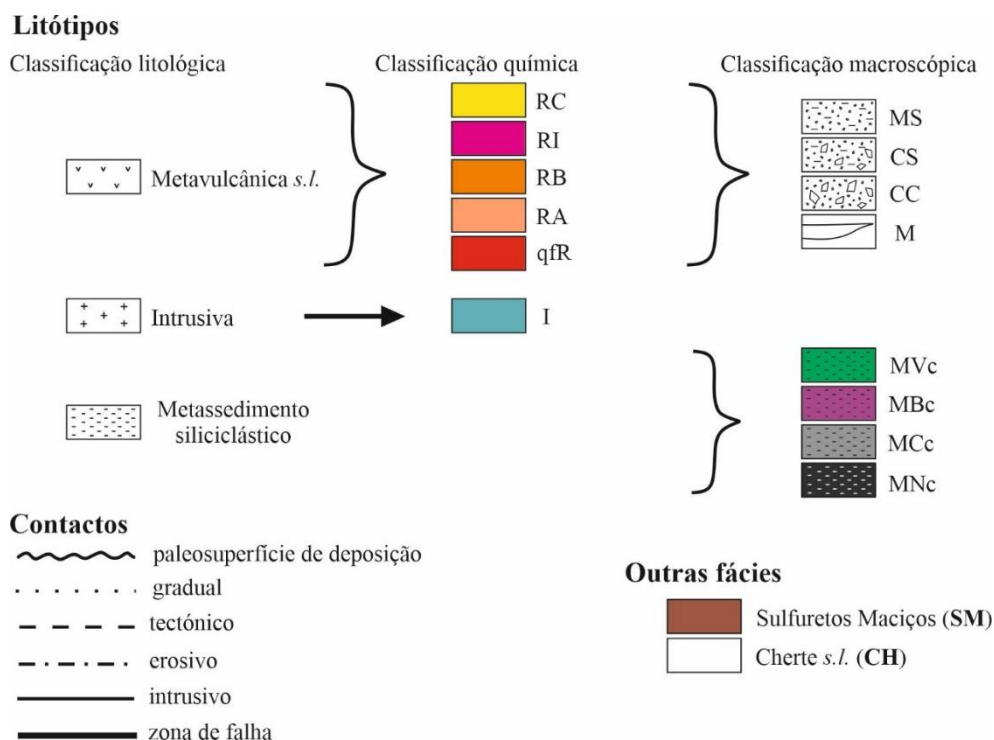


A presença de Sp é igualmente observada em filonetes (mm) tardios (**Figura IV.5c**), os quais são posteriormente afectados pela associação Ccp + Cb ± Qz tardia, acima descrita. Na sondagem GS-18004, a Sp e a Ccp ocorrem igualmente sob a forma de alinhamentos com reduzida expressão e, sub-paralelos aos bandados, onde a Ccp precede a deposição de Sp. Na sondagem GS-19001, associada à segunda intersecção, a Ccp encontra-se presente na matriz sulfuretada bandada, salientando-se a ausência de Sp sob a forma de alinhamentos posteriores ao bandado (**Figura IV.5d**). A presença de Gn reconhecível macroscopicamente apenas foi observada na primeira intersecção da sondagem GS-18003, sob a forma de raros filonetes tardios com reduzida expressão.

Relativamente às unidades que hospedam as lenticulas sulfuretadas, a unidade **RB** encontra-se geralmente presente, tanto a topo como a muro (**Figura IV.7** a **Figura IV.10**), salvo raras excepções. A título de exemplo, salienta-se: (i) o contacto gradual a topo da primeira intersecção da sondagem GS-18003, o qual é marcado por alteração clorítica extrema, acompanhada de incremento progressivo da quantidade de sulfuretos na rocha, cuja composição sugere a presença de uma unidade do tipo **RA** (**Figura IV.7**); e (ii) a unidade hospedeira da massa intersectada na sondagem GS-18005A, cujas assinaturas litogeoquímicas sugerem a presença da unidade **qfR**, embora o contacto entre esta e a unidade **RB** a topo não tenha sido observado. Relativamente, ainda, à mineralização intersectada na sondagem GS-18005A, salienta-se a presença de relíquias de metapelito negro preservadas no seio da massa sulfuretada, sugerindo a possibilidade de (pelo menos) parte da mineralização se encontrar hospedada em unidades metassedimentares (**Figura IV.5e**).

No que respeita aos contactos associados às massas intersectadas nas várias sondagens, estes correspondem, a muro, a contactos de natureza tectónica, e a topo, a contactos graduais (no caso da primeira intersecção) ou tectónicos (no caso da segunda e terceira intersecções). Os contactos graduais encontram-se sempre marcados por impregnação progressiva da rocha a topo por fases sulfuretadas (essencialmente Py), processo este que conduz à obliteração parcial (no caso de fácies competentes) ou quase completa (no caso de vulcanoclásticas) das texturas originais das rochas, sugerindo a ocorrência de processos de substituição (**Figura IV.9d**).

Os contactos tectónicos observados favorecem a hipótese de haver desmembramento tectónico significativo de uma única lenticula de sulfuretos maciços, possivelmente como resultado de contrastes reológicos entre o material sulfuretado e as rochas hospedeiras.



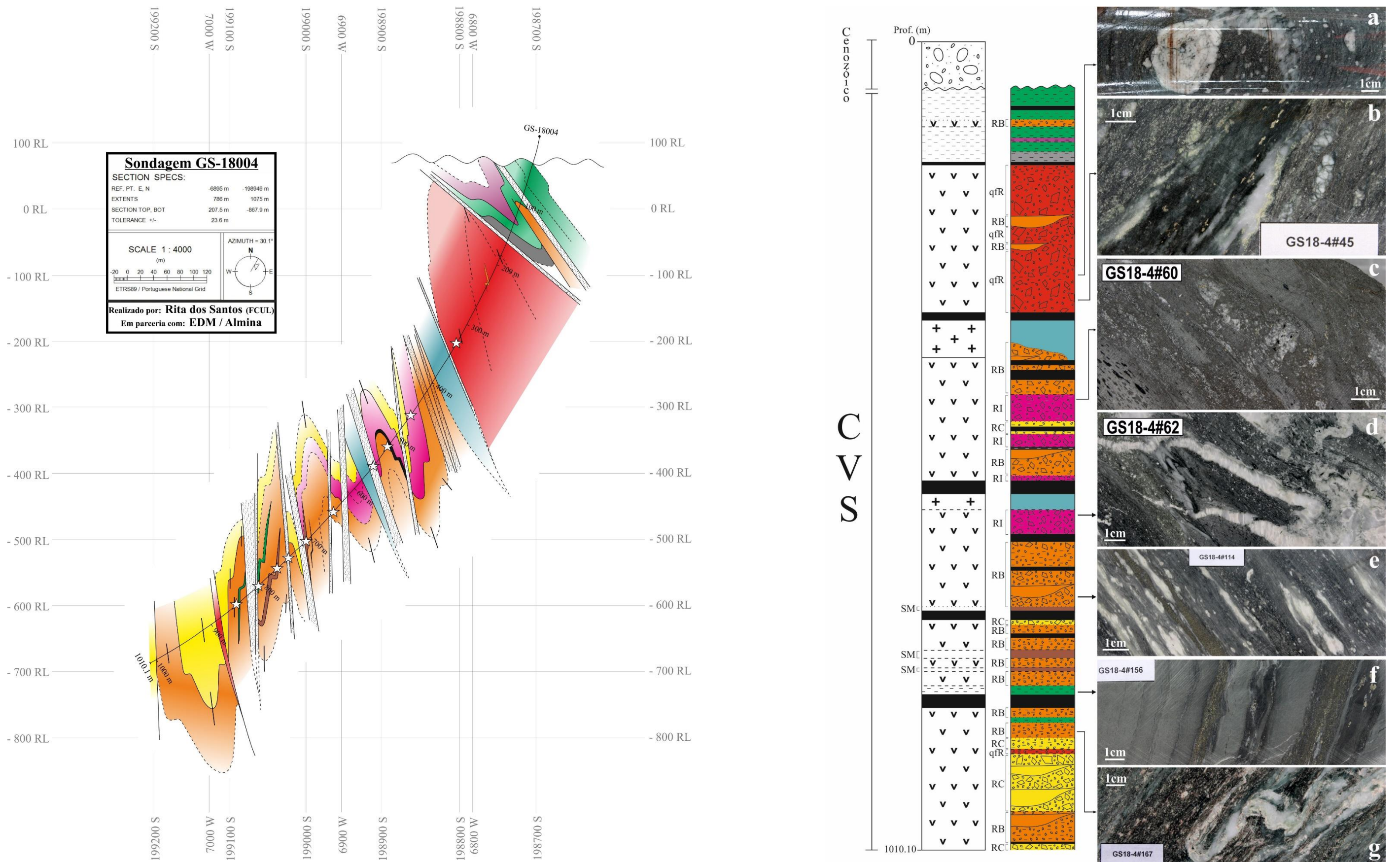
**Figura IV.6** – Legenda referente às colunas “químio-estratigráficas” presentes nas **Figuras IV.7** a **IV.10**.

























## V. Petrografia

O presente capítulo tem como objectivo sumarizar as principais características petrográficas apresentadas pelas diferentes litologias e fácies amostradas: **(i)** rochas metavulcânicas félsicas; **(ii)** rochas intrusivas; **(iii)** rochas metavulcanoclásticas intermédias; **(iv)** rochas metapelíticas; **(v)** rochas quimiogénicas; e **(vi)** minérios (semi-)maciços e veios mineralizados.

Não obstante os exemplares de “cloritito” apresentarem composição afim da fácies tipo **RA**, a sua petrografia foi realizada de forma independente, porquanto preservam efeitos imputáveis a processos de alteração intensos e penetrativos, associando-se frequentemente a manifestações hidrotermais adjacentes a centros mineralizantes.

### V.1. Metavulcânicas félsicas

As rochas metavulcânicas *s.l.* félsicas registam importantes variações do ponto de vista textural que traduzem aspectos primários relacionados com a sua génese e que, de alguma forma, condicionam não apenas a progressão dos vários processos de alteração *s.l.* a que foram sujeitos, mas também a forma como estes se expressam. As fácies estudadas compreendem desde termos clásticos a coerentes<sup>1</sup>, preservando efeitos heterogéneos atribuíveis a processos de alteração *s.l.*, tardiamente reforçados como resultado da intensa deformação e consequente recrystalização metamórfica.

Não obstante a heterogeneidade textural, a variabilidade do ponto de vista das associações minerais é bastante reduzida. É de salientar que, embora o estudo petrográfico tenha sido orientado de forma a caracterizar individualmente cada unidade “química”, não foram encontradas características particulares que justificassem a descrição individual de cada uma delas.

#### V.1.1. Fácies clásticas

As fácies clásticas apresentam textura granular seriada bimodal, caracterizada pela presença de mineraloclastos de dimensão até 2-3mm de Qz e Fsp, dispersos numa matriz, geralmente equigranular, fina a muito fina. O Fsp corresponde a Pl, exibindo frequentemente macla polissintética simples ou conjugada com a geminação tipo Carlsbad (**Figura V.1a**). Nos exemplares estudados das fácies **qfR**, **RA** e **RB**, os mineraloclastos de Fsp dominam largamente sobre os de Qz, contrariamente a **RC**, onde os mineraloclastos de Qz prevalecem. A matriz é essencialmente quartzo-feldspática (sendo a proporção entre ambas as fases variável entre exemplares, embora Qz sempre dominante), contendo quantidades apreciáveis de filossilicatos.

A expressão macroscópica dos efeitos da deformação é bastante evidente, materializando-se sob a forma de: **(i)** microestruturas e efeitos ópticos intra- e intergranulares (*e.g.* Qz com extinção ondulante e subgranulação, Cb com maclas mecânicas, arqueamento dos grãos minerais, solução sob pressão, sombras de pressão, recrystalização dinâmica *etc.*); e **(ii)** arranjos texturais (*e.g.* micro-dobramentos e -*boudinage*, fracturação intra-, inter- e transgranular). A foliação tectónica penetrativa (**Figura V.1d**), devida à progressão de solução sob pressão, é geralmente marcada por alinhamentos coplanares dos filossilicatos que compõem a matriz ( $S_0$  transposto por  $S_1$ ); estes orientam-se segundo a direcção de crescimento das sombras de pressão de  $Qz \pm Chl \pm Ser$  associadas ao desenvolvimento de microestruturas sigmóides (**Figura V.1p**) como resultado da rotação dos mineraloclastos de Qz e Fsp que constituem os núcleos dessas estruturas. Em alguns exemplares regista-se uma segunda foliação  $S_2$  (crenulação), geralmente evidente em zonas onde a abundância de filossilicatos é significativa (**Figura V.1d,q2**). Nos exemplares adjacentes a importantes acidentes tectónicos, os efeitos da deformação são mais intensos e, em condições extremas, geram-se verdadeiros tectonitos. Nestes últimos, o alongamento/estiramento dos constituintes minerais é fortíssimo, desenvolvendo-se ainda corredores de cisalhamento ao longo dos quais se dispõem abundantes filonetes preenchidos por Cb, Qz e (hidr)óxidos de ferro não resolúveis à escala microscópica. Nestes exemplares regista-se também forte recrystalização

---

<sup>1</sup> Com excepção da fácies “química” RC, unicamente clásticas.

das fases minerais previamente depositadas, com particular interesse a Py, resultando no aumento quer da granularidade quer da euédria dos grãos.

Nas fácies clásticas, as evidências de alteração manifestam-se sobretudo sob a forma de transformações tipo *background*, *i.e.* afectando os constituinte minerais primários da matriz. A percentagem de componente filossilicatada matricial, embora variável entre exemplares, é frequentemente significativa e traduz a ocorrência de processos penetrativos de cloritização  $\pm$  sericitização (**Figura V.1a,s1**). Nos exemplares onde estes processos são menos expressivos, a Chl e Ser desenvolvem apenas agregados muito finos que ocupam espaços intersticiais da matriz predominantemente quartzo-feldspática. É de notar que, em alguns exemplares, ocorrem domínios com abundantes leitos, geralmente pouco espessos, de mica branca grosseira, interpretados como resultado de recristalização metamórfica de níveis do protólito essencialmente constituídos por fases argilosas.

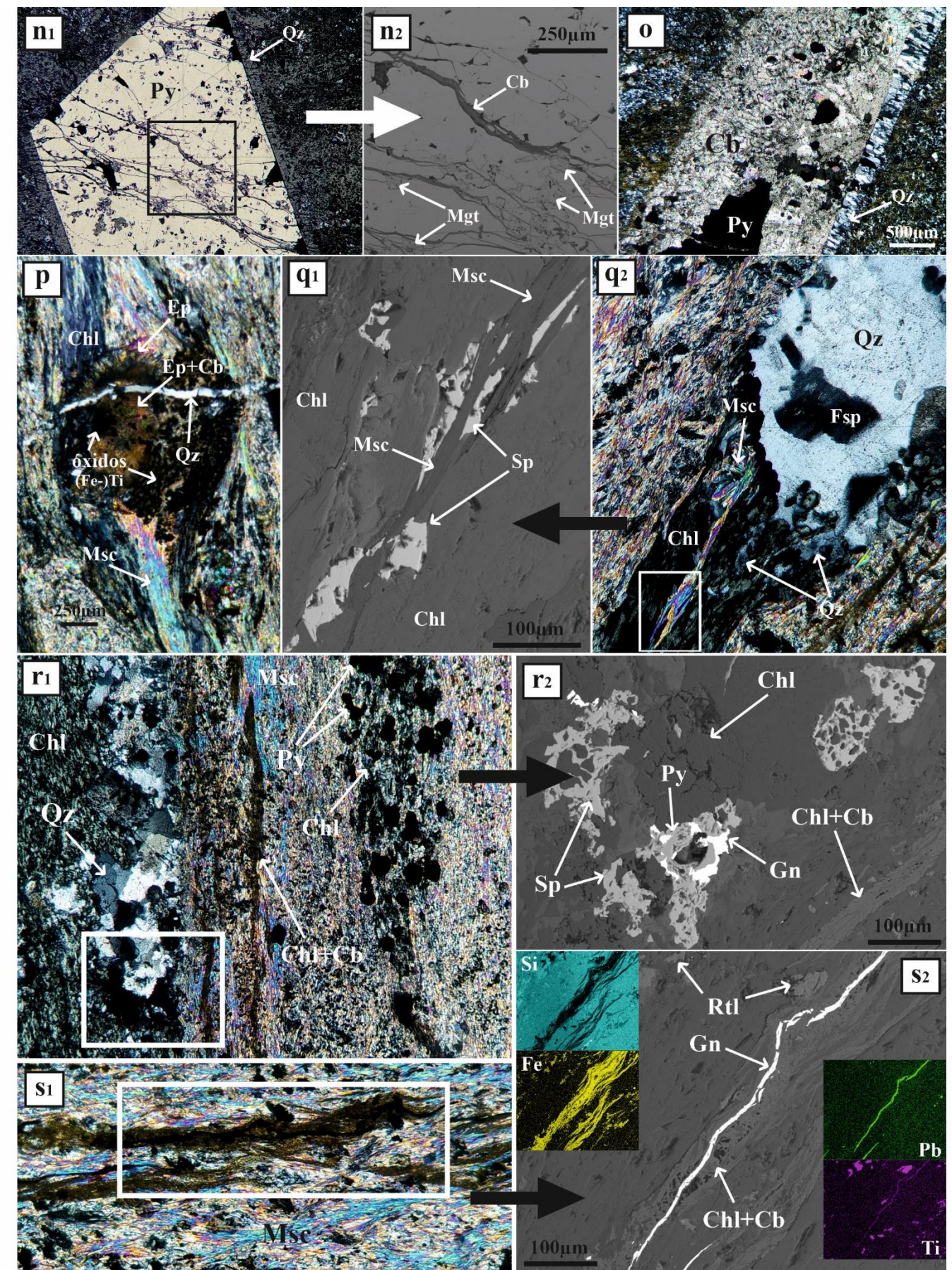
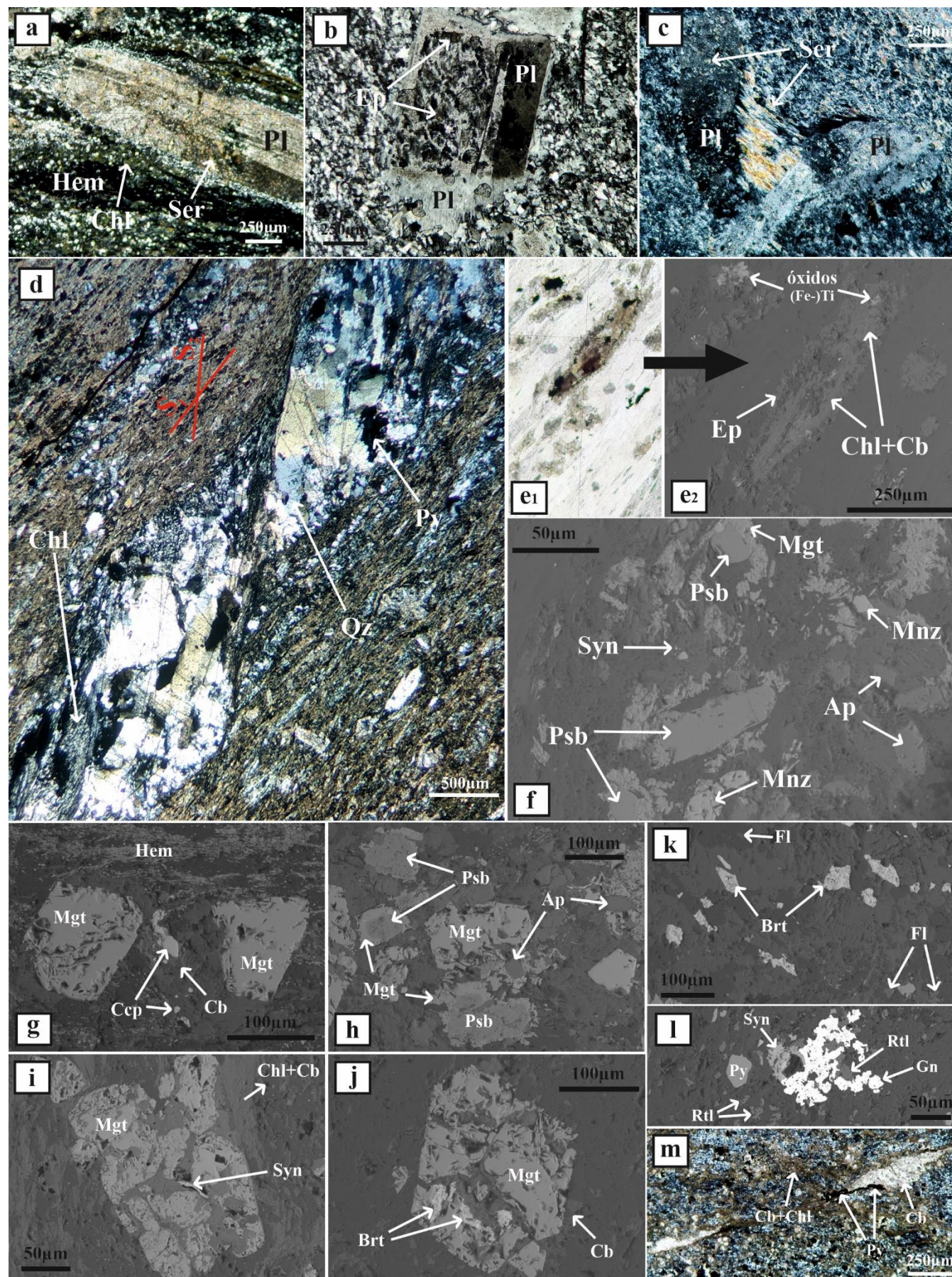
Relativamente aos mineraloclastos de Fsp, estes encontram-se variavelmente hidrolisados (*i.e.* transformados em agregados de Ser e Qz), para além de apresentarem efeitos de cloritização e carbonatação (**Figura V.1c,p,q2**). No seio de algumas estruturas sigmóides observam-se ainda agregados grosseiros de Msc (não orientada), tendo sido interpretada como correspondendo ao processo de recristalização da Ser após hidrólise completa dos mineraloclastos de Fsp. Noutros locais, os núcleos destas estruturas sigmóides correspondem a grãos prismáticos de Ep *s.l.* que crescem radialmente em torno de agregados extremamente finos de Cb + Chl + óxidos (Psb+Rtl) (**Figura V.1e1,e2**). Tipicamente, estas estruturas apresentam morfologia elíptica (interpretada como resultado da deformação síncrona de recristalização metamórfica). Porém, regista-se localmente a preservação de secções rectangulares, o que sugere que esta associação seja resultado de alteração de uma fase pré-existente (Fsp?). Em um dos exemplares estudados de fácies tipo **RC** observam-se mineraloclastos de Fsp substituídos por Ep (**Figura V.1b**). A presença de Ep *s.l.* é igualmente encontrada, um pouco por toda a matriz, sob a forma de grãos prismáticos pontualmente associados a abundantes disseminações de Rtl. É de notar ainda que as estruturas sigmóides, para além de se encontrarem muitas vezes fracturadas e as suas fracturas preenchidas por Qz com evidências de deformação (extinção ondulante), são igualmente afectadas por  $S_2$ , em alguns casos sendo ainda sujeitas a *boudinage*.

Alguns dos mineraloclastos de Fsp apresentam ainda núcleos individualizáveis (igualmente de Fsp), subédricos a euédricos e de reduzida dimensão, sugerindo o desenvolvimento de processos de sobrecrecimento mineral. Em alguns casos, tais processos são particularmente evidentes, resultando na génese de franjas de Fsp que crescem em torno de mineraloclastos de grande dimensão (**Figura V.1b**). Contudo, as franjas de Fsp não são afectadas pelos processos de alteração *s.l.* descritos, sugerindo desenvolvimento tardio, contrariamente aos casos anteriormente mencionados.

No que respeita os mineraloclastos de Qz, estes apresentam frequentemente morfologia arredondada com contornos difusos ou bordos de reacção (“embainhamentos”).

Nos exemplares estudados, os domínios alterados com tonalidade avermelhada incluem abundantes bastonetes micrométricos de Hem (**Figura V.1g**) que tendem a desenvolver alinhamentos concordantes com a foliação tectónica. Nestes domínios, ocorrem também disseminações de grãos euédricos a subédricos de maior dimensão de Mgt, cujos núcleos correspondem não raramente a relíquias de Psb (**Figura V.1h**). Muitos destes grãos apresentam ainda inclusões de Ap (**Figura V.1h**). Localmente, a Mgt apresenta sombras de pressão de Chl, chegando mesmo a desenvolver proto-estruturas sigmóides com caudas incipientes, o que remete a génese de Mgt para um período ante-pico de deformação. Em um dos exemplares de fácies **qfR** (**Figura IV.9g**), observam-se, adicionalmente, abundantes recristalizações euédricas de Py de grande dimensão, com sombras de pressão de Qz contendo inclusões de Mgt (**Figura V.1n1,n2,o**). Neste exemplar, a Py é cortada por fracturas paralelas à foliação tectónica preenchidas por agregados muito finos de Cb + Chl, que cortam igualmente as sombras de pressão. Nos locais onde as fracturas afectam as inclusões de Mgt, estas últimas manifestam efeitos de oxidação, com consequente formação de Hem.









**Figura V.1** – (a) Fotomicrografia em LTDP de mineraloclasto de Pl algo sericitizado no seio de matriz francamente cloritizada e hematizada. (b) Fotomicrografia em LTDP de mineraloclasto de Pl parcialmente substituído por Ep com franjas de Pl no seio de matriz quartzo-feldspática. (c) Fotomicrografia em LTDP de mineraloclastos de Pl parcialmente sericitizados no seio de matriz quartzo-feldspática contendo filossilicatos. (d) Fotomicrografia em LTDP de veio de Qz + Chl + Ser + Py orientado segundo S<sub>1</sub> e crenulado por S<sub>2</sub>. (e1) e (e2) Fotomicrografia em LTSP de estruturas de Ep + Chl + Cb + óxidos de (Fe-)Ti estiradas segundo S<sub>1</sub>, e respectiva EI. (f) EI de agregados de Psb + Mnz + Ap + Mgt. (g) EI de Hem muito fina desenvolvendo alinhamentos consistentes com S<sub>1</sub> e grãos de Mgt no seio da matriz clástica. Deposição tardia de Ccp associada a Cb. (h) EI de grãos de Mgt com núcleos de Psb e inclusões de Ap. (i) EI de grão de Mgt fracturado, com deposição tardia de Syn + Chl + Cb. (j) EI de cristal de Mgt fracturado, com deposição tardia de Cb + Brt. (k) EI de deposição de Brt + Fl. (l) EI de deposição tardia de Syn. (m) Fotomicrografia em LTDP de fendas de Cb + Py. (n1) e (n2) Fotomicrografia em LRSP de cristal de Py fracturado com sombras de pressão de Qz e com inclusões de Mgt e respectiva EI onde se observam as fracturas preenchidas por Cb. (o) Fotomicrografia em LTDP de cristal de Py com sobras de pressão de Qz quase totalmente substituído por Cb. (p) Fotomicrografia em LTDP de mineraloclastos de Fsp (?) fortemente substituído por Ep + Cb + óxidos de (Fe-)Ti com sombras de pressão de Chl + Ser cortado por veio de Qz tardio. (q1) e (q2) EI e respectiva fotomicrografia em LTDP de sombras de pressão de Chl e Msc (Ser recristalizada?) com Sp associada a mineraloclasto de Fsp parcialmente silicificado. (r1) e (r2) Fotomicrografia em LTDP de veio de Qz + Chl + Py + Gn + Sp, e respectiva EI. (s1) e (s2) Fotomicrografia em LTDP de alinhamentos de Cb + Chl com mineralização de Gn associada.

É de salientar que, em alguns exemplares, os grãos de Mgt encontram-se fracturados, estando as descontinuidades planares preenchidas por Brt + Fl + Syn acompanhadas de proporções variáveis de Chl + Qz + Cal (**Figura V.1i,j**). Esta associação é, ainda, encontrada sob a forma de agregados finos disseminados pela matriz (**Figura V.1k,l**).

Não obstante a alteração nestas rochas expressar-se mais frequentemente sob a forma *background*, localmente observam-se veios (com contactos difusos e diferentes preenchimentos minerais) por vezes rodeados de halos caracterizados pela deposição da mesma associação mineral na proximidade das descontinuidades. A cronologia relativa entre as várias descontinuidades observadas nem sempre é fácil de estabelecer. Salientam-se, porém, o que aparentam ser preenchimentos relacionados com episódios distintos: (i) veios deformados de Qz + Fsp (este último evidenciando sericitização) sem mineralização associada; (ii) veios deformados de Qz + Chl ± Ser ± Cb ± Py ± (Sp + Gn >> Ccp) ± Rtl (**Figura V.1r1,r2**); (iii) veios de Qz sem quaisquer evidências ópticas e texturais de deformação; (iv) veios, filonetes e fendas preenchidas por Chl em leque ou sob a forma de agregados vermiculares grosseiros; e (v) veios com dimensão e orientação variáveis, preenchidos por Cb ± Qz e sulfuretos (Py ± Ccp) (**Figura V.1m**). Pontualmente, o último conjunto de veios associa-se ao processo responsável pela carbonatação intensa e recristalização (euédrica) de Py, culminando em pseudomorfoses (**Figura V.1o**). Para além destas descontinuidades, destaca-se ainda a presença quase ubíqua de “bandas” coplanares do *fabric* tectónico, enriquecidas em agregados geralmente muito finos de Cb + Chl ± Ep ± Ser que se fazem acompanhar muitas vezes de sulfuretos (Gn ± Sp ± Ccp ± Py) e ainda Rtl ± Ap (**Figura V.1s1, s2**). A relação entre esta associação mineral e as que selam as várias famílias de descontinuidades nem sempre é clara, embora aparentem anteceder as que se desenvolvem pós-pico de deformação. Contudo, o facto destas “bandas” cortarem algumas das recristalizações de Py observadas (**Figura V.1n1,n2,o**) remete o seu desenvolvimento para um período sin- a pós-pico de deformação.

No que respeita às fases sulfuretadas, para além da sua presença em veios, estas encontram-se invariavelmente presentes nos exemplares estudados sob a forma de disseminações na matriz fêlsica. A Py é, de longe, o sulfureto mais abundante; não raramente observam-se estruturas frambóides e/ou colomórficas que se distribuem ao longo de níveis que marcam S<sub>0</sub> (transposto por S<sub>1</sub>). Esta Py mais precoce serve, tardiamente, como centro de nucleação de uma segunda geração de Py (hidrotermal), pontualmente acompanhada de Apy.

Relativamente à mineralogia acessória (primária?) regista-se a presença de Zrn, Mnz, Rtl (?), Ttn e Ap, sob a forma de grãos dispersos pela matriz clástica ou formando pequenos agregados (**Figura V.1f**).

### V.1.2. *Fácies coerentes*

As fácies coerentes apresentam textura microfanerítica (a praticamente afanítica em alguns exemplares) porfírica, caracterizada por fenocristais subédricos a euédricos, de dimensão até 2/3 mm, de Fsp e, mais

raramente, de Qz (geralmente de menor dimensão que os primeiros), dispersos numa matriz da mesma natureza mineralógica. Embora a esta escala nem sempre seja possível precisar a proporção entre ambos, nos exemplares de granularidade superior, a abundância de Qz aparenta dominar. O Fsp corresponde maioritariamente a Pl, exibindo macla polissintética simples ou conjugada com macla de Carlsbad (**Figura V.2a1,c**), com excepção de um exemplar de fácies tipo **RB** (GS18-4#72) onde foi identificado também Fsp alcalino (**Figura V.2b**). Os filossilicatos matriciais são escassos, confinando-se a agregados muito finos de Chl  $\pm$  Ser ocupando os espaços intergranulares da matriz quartzo-feldspática.

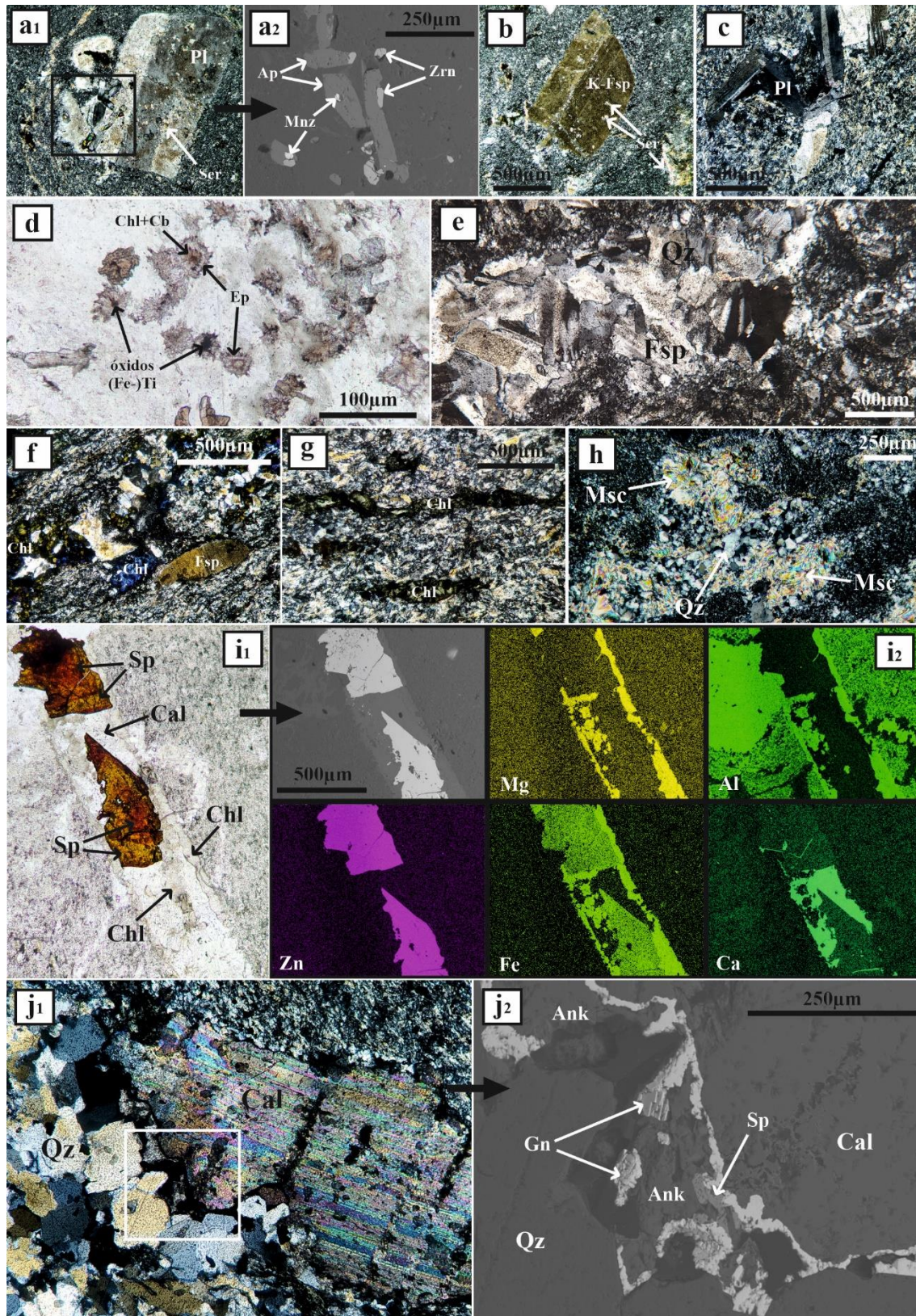
Contrariamente às fácies clásticas, a deformação nas fácies coerentes é menos evidente. Não obstante, quando a granularidade o permite, o Qz presente na matriz, à semelhança do que constitui os fenocristais, exibe sistematicamente extinção ondulante. Localmente, observam-se ainda fenómenos de solução sob pressão e recrystalização que actuam sobre a matriz, conduzindo à coalescência de grãos e crescimento heterogéneo de *patches* de Qz com contornos difusos. Contudo, a manifestação mais expressiva da deformação nestas rochas consiste na abertura de numerosas descontinuidades de orientação e dimensão variáveis. Em alguns exemplares fortemente alterados, regista-se ainda o desenvolvimento de foliação tectónica, ainda que incipiente, marcada pela orientação preferencial da Ser (presumivelmente resultante de hidrólise de Fsp).

O estabelecimento de relações cronológicas entre as diferentes famílias de descontinuidades com preenchimento mineral é dificultado pela conjugação de vários aspectos, nomeadamente: **(i)** preenchimentos pertencentes a uma mesma família nem sempre incluem a totalidade da associação mineral que poderia caracterizar essa mesma família; **(ii)** descontinuidades com orientação, morfologia e dimensão variáveis que se cortam mutuamente; **(iii)** forte tectonização e possível recrystalização metamórfica de diversas fases minerais, aumentando a heterogeneidade textural e, muitas vezes, obliterando por completo os critérios que permitiriam inferir cronologias relativas; e **(iv)** abertura recorrente por reactivação de descontinuidades pré-existentes, dificultando a distinção de eventos.

Ainda assim, foi possível identificar cinco famílias distintas de preenchimentos. A mais precoce corresponde a veios e filonetes de Qz grosseiro com evidências ópticas de deformação (extinção ondulante, lamelas de deformação e subgranulação intercrystalina), que se faz acompanhar de Fsp fracturado (**Figura V.2e**). Seguidamente, regista-se a presença de uma família igualmente ante-deformação, marcada pela associação Qz + Chl  $\pm$  Ser  $\pm$  Cb  $\pm$  sulfuretos  $\pm$  Rtl (**Figura V.2f**). Relativamente às fases sulfuretadas associadas a esta família, regista-se a presença de Py  $\pm$  Apy  $\pm$  Sp  $\pm$  Gn  $\pm$  Ccp. Com desenvolvimento posterior às duas famílias de descontinuidades ante-deformação, identificam-se dois outros sistemas. O primeiro inclui veios, filonetes e fendas (que cortam e rejeitam as famílias anteriores) contendo agregados de Chl dispostos em leque (**Figura V.2g**) e, mais raramente, com morfologia vermicular (em particular junto ao bordo de veios com os quais contactam). Este sistema é, posteriormente, cortado e rejeitado por um segundo grupo de descontinuidades, mais discretas e preenchidas por mica branca (**Figura V.2h**). Em alguns exemplares, o segundo grupo aproveita o sistema de descontinuidades pós-deformação anterior, culminando na génese de halos geralmente pouco penetrativos de Ser. Posteriormente a toda a sequência anterior, desenvolvem-se abundantes estruturas com dimensão muito variável entre exemplares e seladas por Cb, ao qual se associa frequentemente a deposição de algum Qz e, possivelmente, raras fases sulfuretadas como Py  $\pm$  Sp  $\pm$  Gn  $\pm$  Ccp (**Figura V.2i,j**). O desenvolvimento destas estruturas é tardio relativamente a toda a sequência anterior; contudo, em muitas circunstâncias, esta família aproveita parcialmente as descontinuidades pré-estabelecidas, dificultando a sua distinção (unicamente com base em características petrográficas) do Cb mais precoce. A presença de sulfuretos disseminados na matriz, contrariamente ao que se verifica com as fácies clásticas, é relativamente escassa, não obstante a presença pontual de grãos e/ou agregados finos de Py parcialmente recrystalizados.

Tanto o Fsp em veios como o que constitui a matriz e os fenocristais, encontra-se variavelmente sericitizado (**Figura V.2a1,b**), localmente registando ainda evidências de cloritização e carbonatação.





**Figura V.2 – (a1) (a2)** Fotomicrografia em LTDP de fenocristal de Pl com inclusões de Mnz, Ap e Zr, e respectiva EI. **(b)** Fotomicrografia em LTDP de fenocristal de K-Fsp variavelmente sericitizado. **(c)** Fotomicrografia em LTDP de fenocristais de Pl maclados. **(d)** Fotomicrografia em LTSP de estruturas de Ep + Cb + Chl + óxidos de (Fe-)Ti. **(e)** Fotomicrografia em LTDP de veio de Qz+Fsp. **(f)** Fotomicrografia em LTDP de veio de Qz + Chl ± Ser ± Py. **(g)** Fotomicrografia em LTDP de fendas tardias de Chl. **(h)** Fotomicrografia em LTDP de deposição de Ser tardia aproveitando estruturas pré-existentes. **(i1)** e **(i2)** Fotomicrografia em LTSP de veios de Cb + Chl + Sp, e respectiva EI e CM para os elementos Mg, Al, Zn, Fe e Ca. **(j1)** e **(j2)** Fotomicrografia em LTDP e veio de Cb com mineralização de Gn + Sp associada, tardiamente reaproveitado com deposição de Cal.



Estes processos de alteração, embora afectem a rocha como um todo, são especialmente evidentes quando associados aos fenocristais de grande dimensão, como exemplificado pelo desenvolvimento de orlas de Ser devido a hidrólise intensa do Fsp. É de notar, ainda, que alguns fenocristais de Fsp apresentam núcleos individualizáveis (também de Fsp), sugerindo o estabelecimento de processos de sobrecrecimento mineral; alguns destes registam ainda substituição por Ep *s.l.*

À semelhança do que se verifica para as rochas clásticas, também se observam nas fácies coerentes estruturas formadas por grãos prismáticos de Ep *s.l.* que se dispõem radialmente em torno de um núcleo marcado por agregados muito finos de Cb + Chl + (hidr)óxidos de Fe (**Figura V.2d**). Estas estruturas apresentam morfologia circular (por oposição às rochas clásticas, onde exibem tendencialmente morfologia elíptica), possivelmente como consequência da competência mecânica que caracteriza estas fácies, impelindo a que a acomodação da deformação seja feita preferencialmente de forma frágil (e não dúctil). Em torno destas estruturas é comum observar-se a presença de orlas de Ser.

Relativamente à mineralogia acessória primária, destaca-se a presença de Zrn, Ap e Mnz, muitas vezes inclusos em fenocristais de Fsp (**Figura V.2a2**). É de salientar também a presença ocasional de agregados grosseiros com disposição em leque de Stp, dispersos pela matriz ígnea.

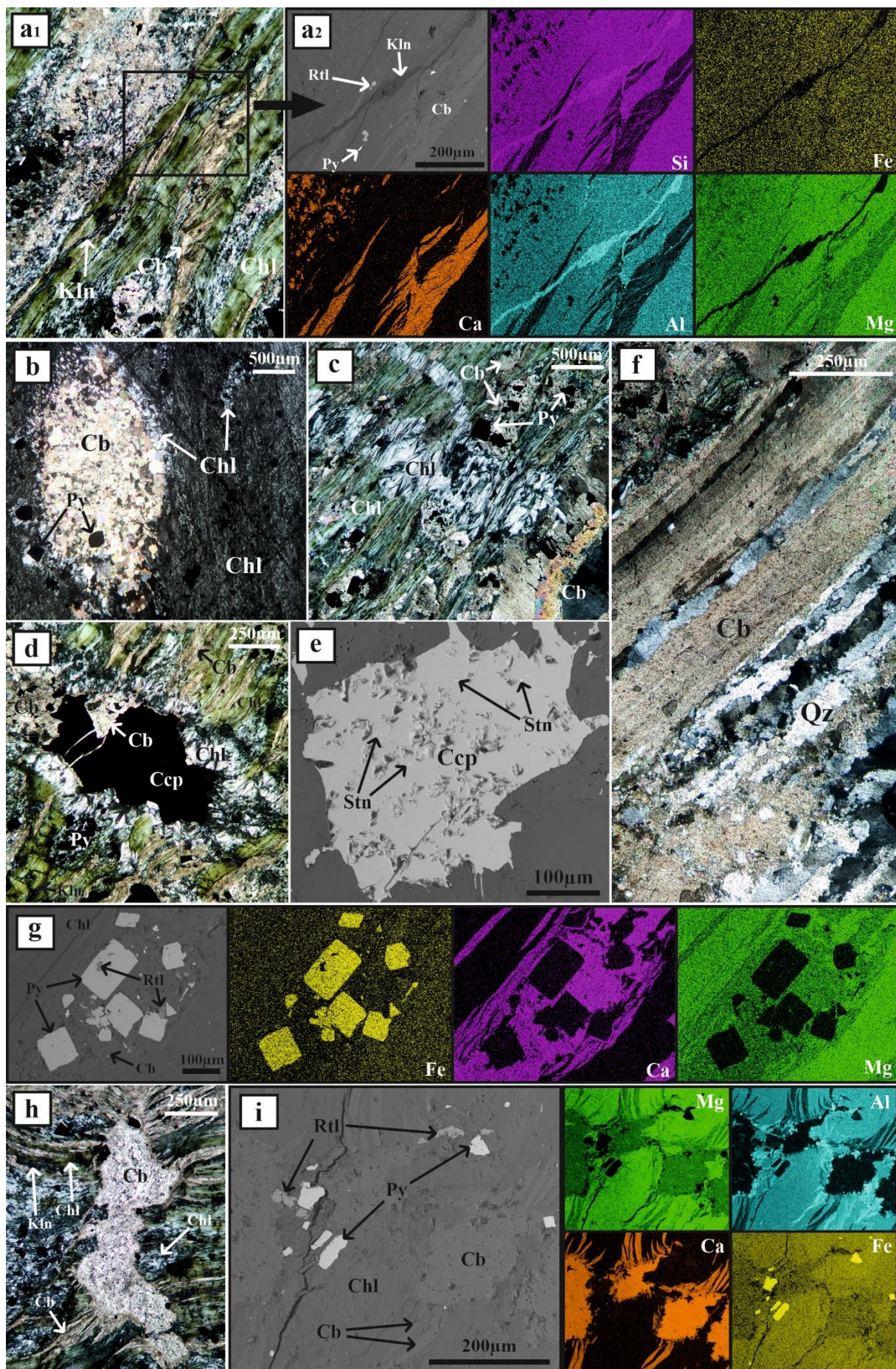
## V.2. Clorititos

Os exemplares estudados correspondem, como esperado, a rochas formadas predominantemente (>80%) por Chl e, em menor proporção, Cb ± Qz ± sulfuretos. A génese destas fases é claramente marcada por impulsos múltiplos, concorrendo para o desenvolvimento de características ópticas e texturais variadas, possibilitando o estabelecimento de relações cronológicas relativas entre as várias etapas de deposição das mesmas. A multiplicidade de episódios hidrotermais *s.l.* é igualmente responsável pela obliteração quase completa de eventuais características primárias do protólito. É de salientar que a abundância de Cb, Qz e sulfuretos, embora variável entre exemplares estudados, é tanto maior quanto maior a profundidade em sondagem.

A geração de Chl mais precoce reconhecível corresponde à matriz propriamente dita do “cloritito”. Esta ocorre preferencialmente sob a forma de agregados orientados muito finos, fracamente pleocróicos e com tintas de birrefringência baixas, que se fazem acompanhar de Qz micro a cripto-cristalino, marcando o *fabric* da rocha. No seio da matriz clorítica, observam-se estruturas de Cb com morfologia elíptica e terminações biseladas que se orientam segundo a direcção da foliação, com sombras de pressão de Chl (distinta da que compõe a matriz) (**Figura V.3b**). O contacto gradual (observado durante a reclassificação da sondagem) que materializa a transição entre a fácies metavulcanoclástica e o “cloritito” sugere que estas estruturas sejam resultado de carbonatação extrema de elementos líticos e/ou mineraloclastos (*e.g.* pseudomorfose de Fsp?) que compõem a fácies clástica. Contudo, no decorrer do estudo petrográfico destes exemplares não se reconheceram relíquias de material dessa natureza. Associadas à matriz clorítica, observam-se ainda disseminações de Py, parcial ou totalmente recrystalizada, por vezes acompanhadas de grãos e/ou agregados finos de Rtl (**Figura V.3i**). Com o aumento da profundidade (em sondagem), estas disseminações dão lugar a leitos rítmicos onde a abundância de Py é significativamente superior. Os grãos de Py recrystalizada encontram-se fracturados, alguns deles evidenciando sombras de pressão de Chl, para além de apresentarem inclusões de Sp, Gn, Ccp e Rtl (**Figura V.3g**).

Localmente, destacam-se da matriz clorítica bandas de Chl grosseira paralelas à foliação (**Figura V.3a1**), igualmente orientada com o *fabric*, indiciando intensa acomodação de deformação (corredores de cisalhamento?). Estas bandas de deformação são interpretadas como resultado da recrystalização da Chl matricial. Neste contexto, a Chl é igualmente incolor, mas as tintas de birrefringência são ligeiramente mais altas. São ainda dignas de nota as pequenas fendas preenchidas por agregados muito finos de minerais do grupo da caulinite, incolores e com tintas anómalas (**Figura V.3a1,a2**).







**Figura V.3** – (a1) e (a2) Fotomicrografia em LTDP de bandas de Chl paralelas a  $S_1$  e abertura de fendas escalonadas de Kln que cortam Cb pré-depositado, e respectiva EI e CM para os elementos Si, Fe, Ca, Al e Mg. (b) Fotomicrografia em LTDP de estruturas lenticulares de Cb e cristais de Py, ambas com sompras de pressão de Chl em matriz do “cloritito”. (c) Fotomicrografia em LTDP de deposição tardia de Chl em veios que cortam a estrutura pré-existente. (d) Fotomicrografia em LTDP de deposição de Cb + Ccp. (e) EI de Ccp com inclusões de Stn. (f) Fotomicrografia em LTDP de veios de Cb + Qz tardio. (g) EI e respectivos CM para os elementos Fe, Ca e Mg de cristais de Py com inclusões de Rtl. (h) Fotomicrografia em LTDP de vénulas de Cb com consequente infiltração ao longo de  $S_1$ . (i) EI e respectivos CM para os elementos Mg, Al, Ca e Fe de vénulas de Cb com consequente infiltração ao longo de  $S_1$ .

Estas fendas cortam o *fabric* e apresentam, ocasionalmente, disposição *en échelon* concordante com a orientação das bandas anteriormente mencionadas.

A etapa mais precoce de deposição de Cb é materializada por vénulas que cortam a estruturação tectónica pré-existente e condicionam o seu desenvolvimento ao longo do *fabric* (**Figura V.3h,i**). Este Cb, de tonalidade castanha e granularidade extremamente fina, é cortado pelas fendas preenchidas por minerais do grupo da caulinite (**Figura V.3a2**). As vénulas são tardiamente reabertas e preenchidas por Cb incolor mais grosseiro (**Figura V.3h**), o qual se faz acompanhar pela deposição de algum Qz, abundante Ccp e rara Ttr (**Figura V.3d**). A Ccp apresenta inclusões de Stn (**Figura V.3e**) e a sua deposição aparenta ser tardia relativamente ao processo de recristalização de Py, uma vez que ocorre frequentemente contornando grãos de Py euédrica. A segunda geração de Cb é responsável pela alteração parcial de recristalizações euédricas de Py (não chega a pseudomorfose), assim como aparenta corresponder ao mesmo processo que concorre para a formação das estruturas elípticas com terminações biseladas anteriormente descritas.

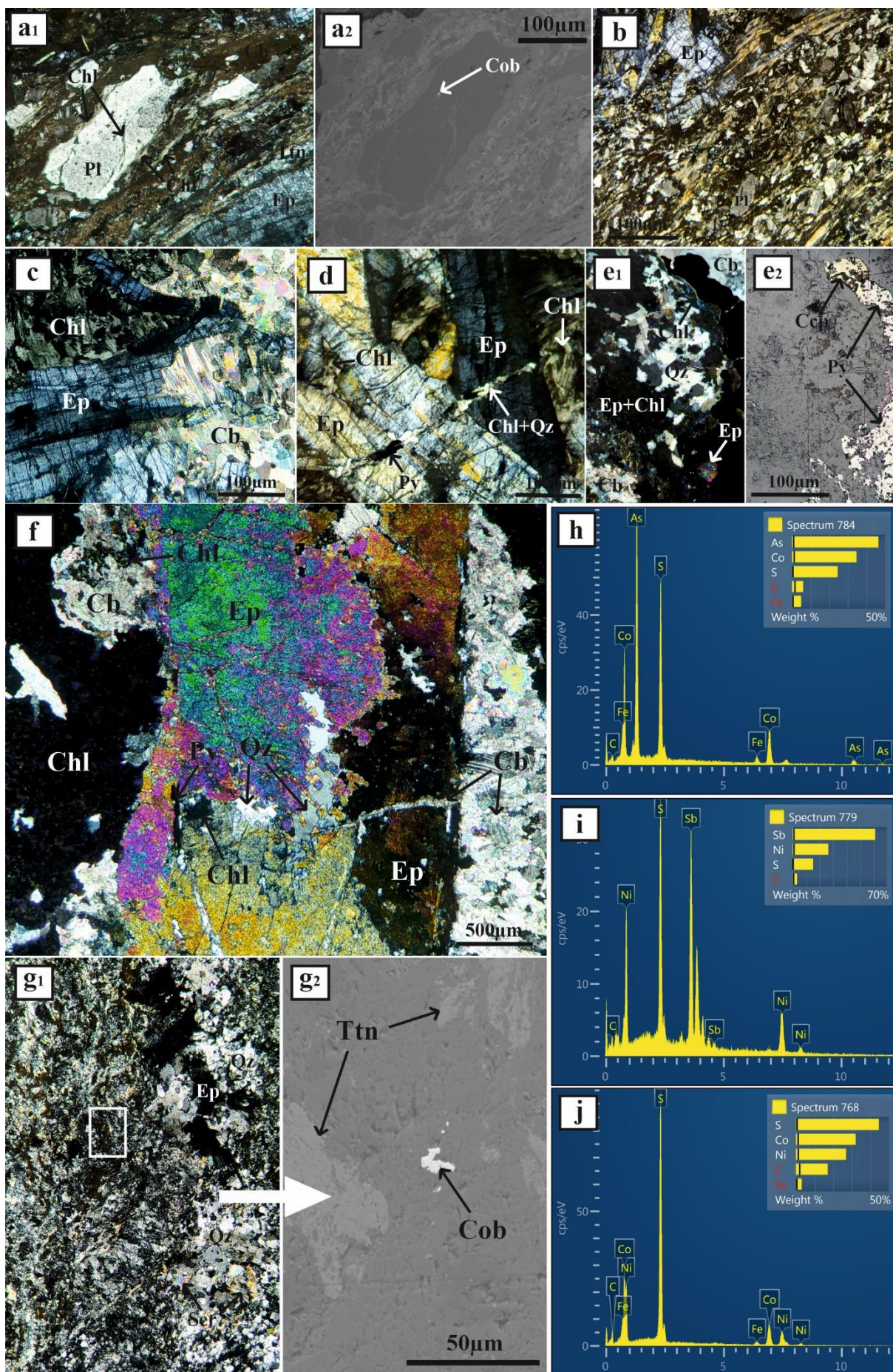
A presença de uma terceira geração de Cb (Cal com tonalidade acastanhada) é denunciada pela associação a Qz (com crescimento em pente e alguma subgranulação intercrystalina) (**Figura V.3f**), preenchendo veios e/ou filonetes interconectados, originando uma rede anastomosada que corta toda a sequência anterior.

Tardiamente, regista-se uma última etapa de deposição de Chl marcada por agregados em leque de granularidade grosseira (sem evidências de deformação), incolores e com tintas de birrefringência baixas (**Figura V.3c**). Estes desenvolvem-se ao longo de discontinuidades (veios e/ou filonetes) que cortam igualmente toda a sequência anterior, ou aproveitando outras pré-existentes (**Figura V.3d**).

### V.3. Intrusivas

A maioria dos exemplares estudados de rochas intrusivas registam efeitos intensos de alteração marcada por substituição penetrativa da matriz pela associação secundária Chl + Cb + Ep *s.l.* ± raros (hidr)óxidos sob a forma de agregados muito finos, com excepção do Ep *s.l.* que tende a desenvolver cristais prismáticos de maior dimensão (**Figura V.4a1,b**). A preservação de características primárias, nomeadamente de carácter textural e mineralógico, encontra-se restrita a exemplares onde a alteração *s.l.* se manifesta sobretudo sob a forma de (abundantes) veios; nestes locais, as rochas apresentam textura microfanerítica (ainda que a granularidade seja variável entre exemplares), pontualmente porfírica. A matriz é composta essencialmente por grãos inequigranulares de Fsp (plagioclase) no seio da qual se distribuem raros fenocristais da mesma natureza, geralmente muito fracturados (**Figura V.4a1**), para além de escassos grãos de Px (fortemente alterados por Chl). No que respeita à mineralogia acessória, destaca-se a presença ocasional de grãos de Ttn. A deformação nem sempre é evidente, embora seja possível observar localmente o desenvolvimento de foliação tectónica (**Figura V.4a1**).

Identificaram-se duas gerações distintas de veios. A primeira é caracterizada por preenchimentos de grandes cristais prismáticos encurvados de Ep *s.l.*, agregados em leque grosseiros de Chl e Cb (**Figura V.4c,d,f**). Esta associação é interpretada como, presumivelmente, resultado do metamorfismo de contacto associado à instalação dos corpos intrusivos. Posteriormente, regista-se novo evento de fracturação e subsequente preenchimento por Cal + Qz + Chl ± Ser ± sulfuretos (Py + Sp + Ccp + Gn + Apy) (**Figura V.4d,e**); estas discontinuidades afectam tanto a matriz das rochas como os veios previamente desenvolvidos e em particular os grandes cristais prismáticos de Ep *s.l.* que os preenchem.





**Figura V.4 – (a1) e (a2)** Fotomicrografia em LTDP de fenocristal de Pl fracturado em matriz alterada por Chl + Cb + Ep *s.l.*, e respectiva EI onde se observa a presença de Cob associada a Chl. **(b)** Fotomicrografia em LTDP de matriz fortemente alterada por Chl + Cb + Ep *s.l.*. **(c)** Fotomicrografia em LTDP de Chl + Cb + Ep *s.l.* em veios. **(d)** Fotomicrografia de Ep *s.l.* + Chl em veios cortados por estruturas tardias de Qz + Chl + Py. **(e1)** e **(e2)** Fotomicrografias em LTDP e LRSP da associação tardia Qz + Chl + Py + Ccp. **(f)** Fotomicrografia em LTDP de Ep + Chl + Cb em veio. **(g1)** e **(g2)** Fotomicrografia em LTDP de matriz dos litoclastos rica em Ttn, cimentados por Qz + Ep + Ser, e respectiva EI onde se observa a presença de disseminações de Cob. **(h), (i)** e **(j)** Espectros EDS para as fases de Co-Ni-S-As-Sb disseminadas pela matriz clática, preferencialmente associadas ao cimento.

Localmente, a Cal apresenta bandas de deformação e, embora recrystalizada, apresenta *fabric*, denotando acomodação de deformação. Na matriz, os sulfuretos desenvolvem disseminações de granularidade muito reduzida. Para além dos sulfuretos anteriormente mencionados, destaca-se presença de cobaltite (**Figura V.4a2**) e fases de S-Sb-As-Co-Ni que, embora sempre acessórias, são comuns nas lâminas estudadas.

#### V.4. Metavulcanoclásticas intermédias a máficas

Os exemplares com composição do tipo **RI** estudados apresentam textura brechóide fortemente estirada, caracterizada pela presença de abundantes litoclastos monomícticos, cimentados por Qz + Ser + Cb + Ep *s.l.* (**Figura V.4g1**).

Os litoclastos apresentam dimensão variável e morfologia tipicamente elíptica biselada com contornos difusos, representando fragmentos de rochas com textura microfanerítica inequigranular, fortemente alteradas pela associação secundária Chl + Cb + Ep *s.l.* (**Figura V.4g1,g2**); não obstante a alteração penetrativa, regista-se pontualmente a presença de relíquias de Fsp que compõe a matriz (primária). Nestas rochas, a Ttn é muito abundante (**Figura V.4g1,g2**), sendo difícil precisar se a sua génese é primária ou secundária.

Relativamente a indícios de mineralização, são dignos de nota as disseminações de muito reduzida dimensão de cobaltite (**Figura V.4g2**) e de fases de S-Sb-As-Co-Ni (**Figura V.4h,i,j**). Embora presentes um pouco por toda a rocha, a maior abundância destas fases encontra-se preferencialmente associada ao cimento ou às zonas de transição entre o cimento e os fragmentos líticos.

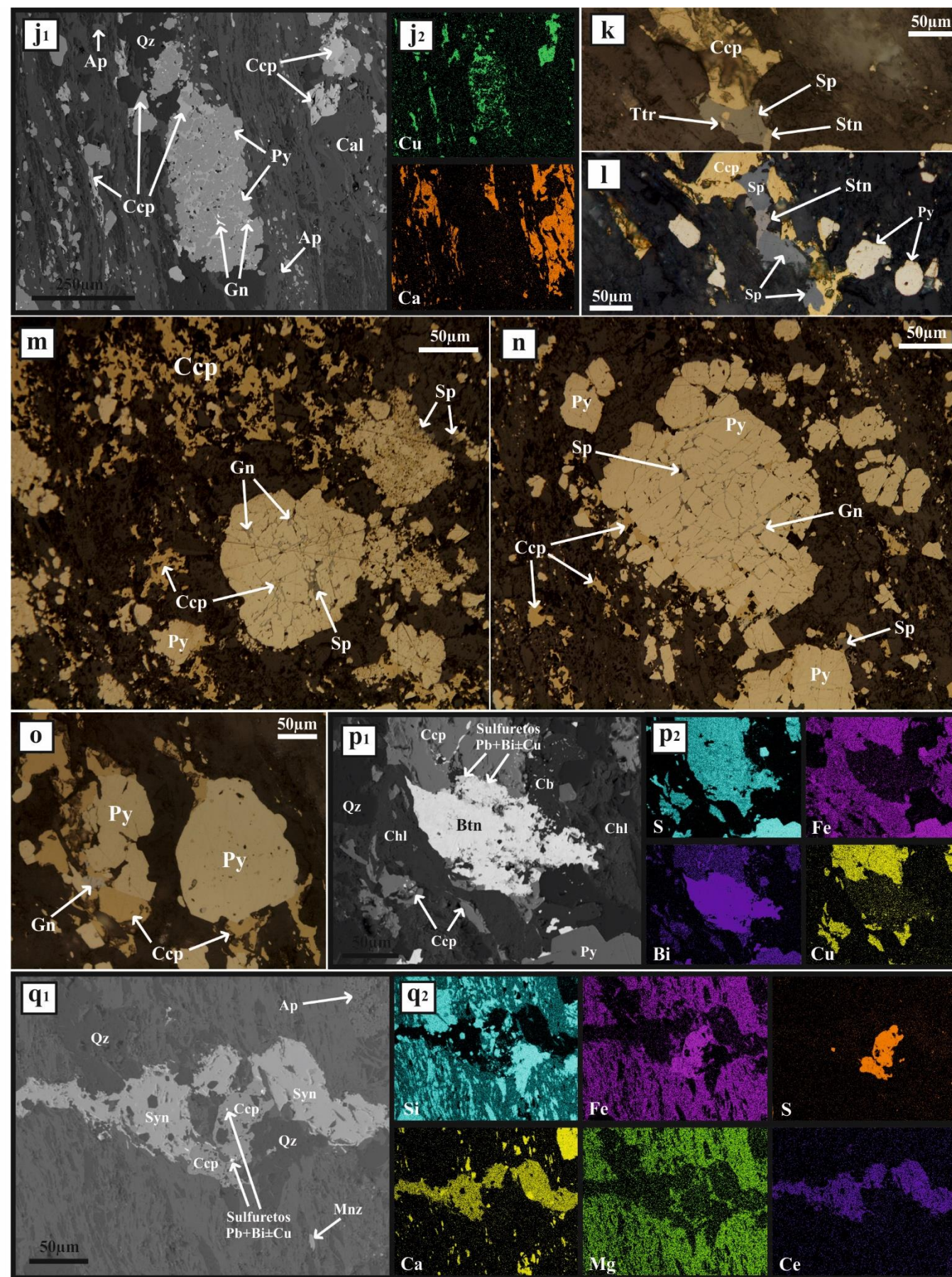
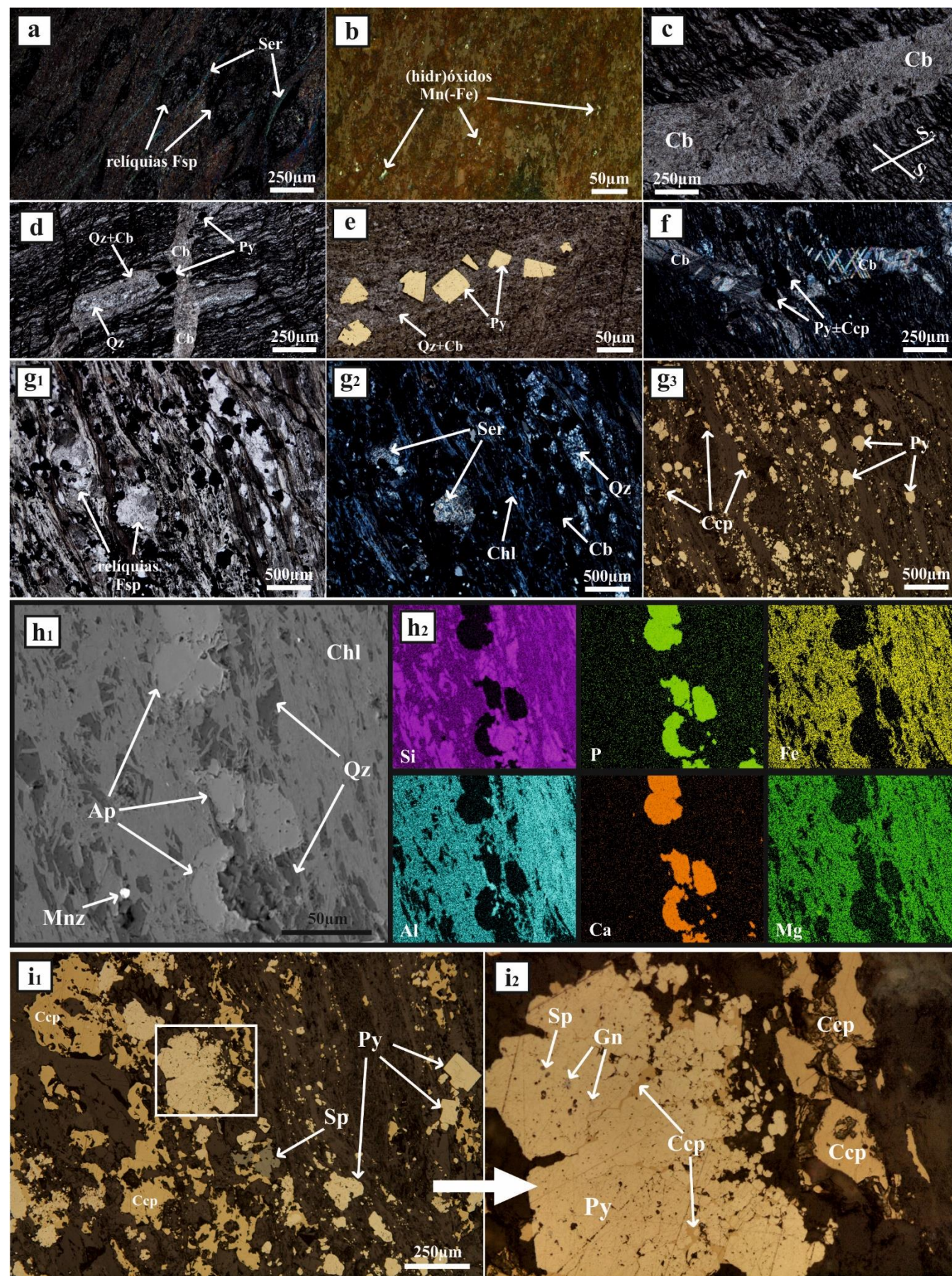
A acomodação de deformação por estas rochas é evidente, materializando-se pelo desenvolvimento de foliação tectónica para além: **(i)** da disposição preferencialmente orientada do Ep *s.l.* que substitui a matriz ígnea dos litoclastos; e **(ii)** achatamento fortíssimo dos litoclastos que compõem a rocha.

#### V.5. Metapelitos

Os exemplares estudados de fácies metapelíticas correspondem a rochas com granularidade extremamente reduzida, essencialmente constituídas por proporções variáveis de filossilicatos e Qz micro a cripto-cristalino. Embora geralmente muito elevada, a maior ou menor penetratividade da xistosidade relaciona-se com a predominância relativa entre as componentes argilosa (essencialmente filossilicatada) e psamítica (essencialmente quartzosa). A xistosidade acompanha a alternância de níveis muito finos com componente quartzosa ou filossilicatada predominante, traduzindo um  $S_0$  geralmente transposto por  $S_1$ . É ainda comum a presença de clivagem de crenulação ( $S_2$ ), invariavelmente menos penetrativa e particularmente evidente nos níveis dominados por filossilicatos (**Figura V.5c,d**).

Não obstante a granularidade extremamente reduzida, dificultando a resolução microscópica dos constituintes minerais, é possível concluir que a maior ou menor abundância de fases como Chl, Ser ou (hidr)óxidos de Mn±Fe é responsável pela coloração macroscópica. As diferentes tonalidades de verde-escuro representam variações na abundância de Chl, enquanto as de verde-claro a bege representam variações na abundância de Ser (**Figura V.5a**), ainda que esta possa ser acompanhada de alguma Chl. No exemplar GS18-4#77, a transição entre a fácies **MV<sub>c</sub>** e **MB<sub>c</sub>** é marcada por incremento gradual de grãos extremamente finos de (hidr)óxidos de Mn±Fe, sublinhando planos  $S_1$  (**Figura V.5b**). As fácies metapelíticas negras adquirem a sua cor (presumivelmente) como resultado da presença de matéria carbonosa amorfa (**Figura V.5c,d**).











**Figura V.5** – (a) Fotomicrografia em LTDP de relíquias de Fsp fortemente sericitizado. (b) Fotomicrografia em LRSP de (hidr)óxidos de Mn(-Fe) no seio da matriz pelítica. (c) Fotomicrografia em LTSP de veio de Cb sub-paralelo  $S_2$ . (d) Fotomicrografia em LTSP de veio de Cb mineralizado sub-paralelo a  $S_2$  com consequente infiltração em níveis psamíticos. (e) Fotomicrografia em LRSP de recrystalizações de Py associadas a níveis onde ocorre deposição de Cb. (f) Fotomicrografia em LTDP de veio de Cb mineralizado em Py + Ccp sub-paralelo a  $S_2$ , com consequente infiltração ao longo de  $S_1$ . (g1), (g2) e (g3) Fotomicrografias em, respectivamente, LTSP, LTDP e LRSP de metapelitos fortemente mineralizado. (h1) e (h2) EI e respectivos CM para os elementos Si, P, Fe, Al, Ca e Mg de níveis ricos em Ap autigénica. (i1) e (i2) Fotomicrografias em LRSP de recrystalização incompleta de Py com inclusões de Sp+Gn e cimentada por Ccp. (j) EI e respectivos CM para os elementos Cu e Ca de recrystalizações incompletas de Py cimentadas por Ccp. (k) Fotomicrografia em LRSP de Sp + Stn + Ttr que acompanham a deposição da Ccp. (l) Fotomicrografia em LRSP de Sp + Stn que acompanham a deposição de Ccp. (m) e (n) Fotomicrografias em LRSP de recrystalizações incompletas de Py (formadas a partir de grãos mais pequenos de Py hidrotermal) com inclusões de Sp + Gn cimentadas por Ccp. (o) Fotomicrografia em LRSP de Ccp ± Gn envolvendo Py, formando pseudo-caudas. (p1) e (p2) EI e respectivos CM para os elementos S, Fe, Bi e Cu de massas de Btn e sulfuretos de Pb-Bi-Cu associados à deposição de Ccp. (q1) e (q2) EI e respectivos CM para os elementos Si, Fe, S, Ca, Mg e Ce de agregados de Syn associados à deposição de Ccp.

Nestas rochas, elementos de origem vulcânica possível (*e.g.* Fsp) ocorrem sob a forma de relíquias, mercê da intensa sericitização, cloritização e, em alguns casos, carbonatação observada (**Figura V.5a**). A deformação terá igualmente conduzido à rotação, achatamento e solução sob pressão desses elementos clásticos, obliterando a preservação de eventuais secções geométricas.

A Py é comum nos metapelitos estudados, destacando-se duas gerações distintas. A primeira é caracterizada por estruturas frambóides e/ou colomórficas de muito reduzida dimensão (ainda que parcialmente recrystalizadas, como resultado da intensa deformação a que foram sujeitas), tipicamente dispostas ao longo de planos que materializam  $S_0/S_1$ ; a origem destas estruturas foi interpretada como diagenética. A segunda geração de Py ocorre sob a forma de pequenas massas e/ou agregados finos, ocasionalmente acompanhadas de grãos euédricos de Apy, igualmente sublinhando  $S_1$ . Em alguns locais, os efeitos da recrystalização metamórfica desta Py terão sido intensos, resultando em grãos euédricos a subédricos de maior granularidade. Esta Py recrystalizada é particularmente comum em veios de Cal ± Qz (**Figura V.5d,e**) que cortam  $S_1$ , embora coplanares de  $S_2$  (**Figura V.5c,f**). Localmente, as relações texturais observadas sugerem que os níveis de maior permeabilidade (psamíticos) terão tipo papel relevante no controlo da migração de fluidos que terá condicionado o crescimento de pequenas vénulas de Cal ± Qz na dependência dos veios anteriormente mencionados (**Figura V.5d**).

Destaca-se com particular interesse o exemplar GS18-4#156 que regista intensa deformação, resultando no desenvolvimento de planos de cisalhamento penetrativos. Aqui, a quantidade de sulfuretos, bem como de Cb, é significativamente superior ao observado nas restantes amostras estudadas (**Figura V.5g,j**). De entre as fases sulfuretadas, destaca-se, para além da Py anteriormente mencionada, abundante Ccp (**Figura V.5i**) e, em menor quantidade, Sp ± Gn ± Stn ± Btn ± Ttr (**Figura V.5i,j,k,l,o**), acompanhadas de quantidade acessórias de cobaltite, gersdorffite e sulfuretos de Pb+Bi±Cu (**Figura V.5p,q1**). O grosso da deposição de Sp + Gn aparenta ser anterior à recrystalização da Py hidrotermal, encontrando-se sobretudo no seio dos grandes cristais de Py parcial ou totalmente recrystalizados. Nestes locais é ainda possível observar os contornos dos grãos de menor dimensão de Py a partir dos quais nuclearam as recrystalizações de maior dimensão (**Figura V.5m,n**). Não obstante a presença de quantidades muito reduzidas de Ccp que acompanham a associação Sp + Gn, a deposição de Ccp ocorre maioritariamente após ou possivelmente durante o processo de recrystalização da Py hidrotermal, fazendo-se acompanhar das restantes fases sulfuretadas (Stn, Btn, Cob, Gdf e fases de Pb+Bi±Cu). Localmente, esta associação mineral tardia é acompanhada de Syn (**Figura V.5q**).

Em todos os exemplares estudados, observa-se ainda uma geração tardia (pós  $S_2$ ) de descontinuidades preenchidas por Cal, sem mineralização associada.

A mineralogia acessória (primária?) destas rochas inclui Zrn, Ap, Mnz e Ttn. A Ttn, Mnz e Zrn ocorrem sob a forma de grãos subédricos com bordos arredondados orientados ao longo de  $S_1$ .

A apatite ocorre quer sob a forma de grãos isolados dispersos pela matriz metapelítica, quer sob a forma de agregados mais grosseiros ao longo de níveis relativamente finos que marcam  $S_0/S_1$ , sugerindo origem autigénica (**Figura V.5h**).

## V.6. Quimiogénicas

### *V.6.1. Jaspe*

O exemplar de jaspe estudado, intersectado pela sondagem GS-18003, corresponde a uma massa siliciosa micro a cripto-cristalina. A sua cor é resultado da impregnação de grãos muito finos de Hem no seio da matriz de Qz, delineando estruturas coloidais (**Figura V.6a,b**). Localmente, observam-se, ainda, agregados finos de Chl fortemente pleocróica. No seio da matriz siliciosa, identificam-se ainda cristais eudétricos a subédricos (embora variavelmente fracturados) de Mgt de maior dimensão, preferencialmente dispostos ao longo dos limites que definem as estruturas coloidais (**Figura V.6b2**), tendo sido interpretados como resultado da recrystalização da Hem previamente depositada.

Não obstante a presença de extinção ondulante associada ao Qz que compõe a matriz (nem sempre perceptível devido à fina granularidade do agregado), a deformação expressa-se maioritariamente sob a forma de fracturação. Distinguem-se três famílias distintas de descontinuidades: (i) filonetes de Qz deformado sem mineralização associada (**Figura V.6d**); (ii) veios (que cortam os filonetes anteriores) preenchidos por agregados grosseiros orientados de Chl fortemente pleocróica, bordejados por  $Msc \pm Hem \pm Mgt$  (**Figura V.6h**); e (iii) fracturas discretas preenchidas por Py (**Figura V.6i**). A associação mineral que seja os veios do segundo conjunto é igualmente responsável pelo preenchimento de estruturas com morfologia vacuolar presentes na matriz (**Figura V.6d**), sendo acompanhada de  $Qz \pm Syn \pm Ap$  (**Figura V.6e,f,g**). Tanto a Ap como a Msc ocorrem sob a forma de cristais bem desenvolvidos, contrariamente à Syn que ocorre sob a forma de agregados microcristalinos.

Salienta-se ainda a presença de finos agregados de Ccp contornando os grãos de Mgt ou preenchendo as fracturas que afectam esta fase óxida (**Figura V.6c**).

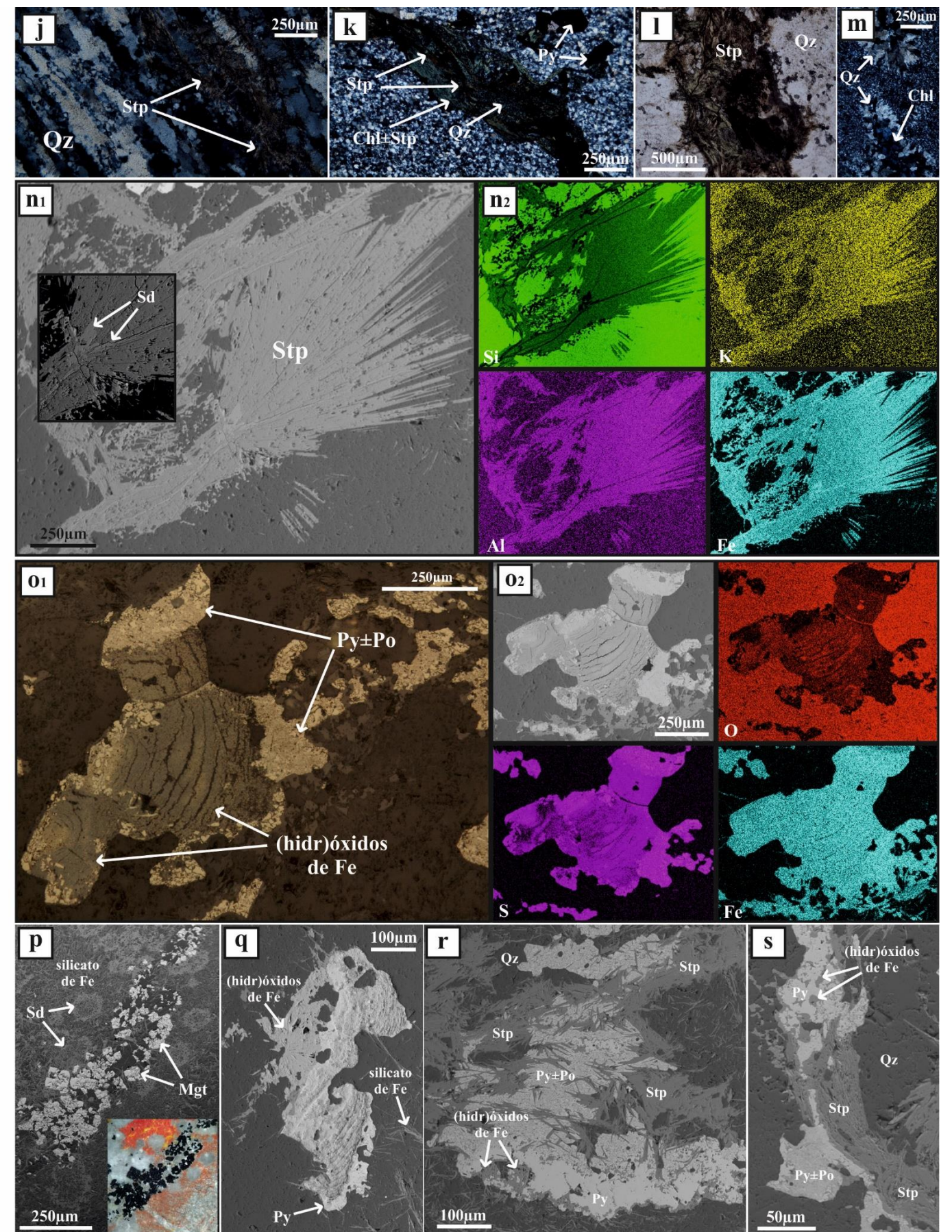
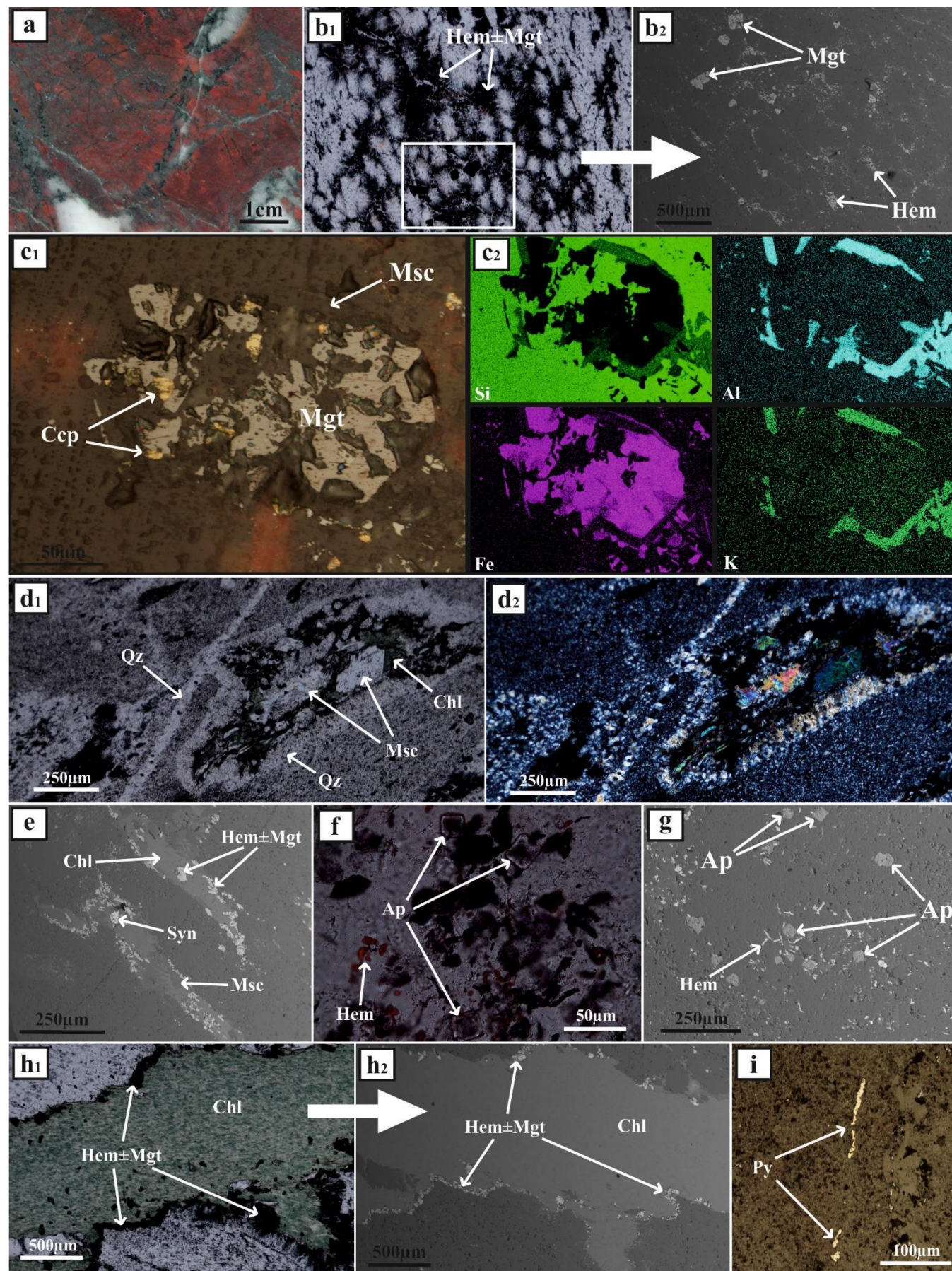
### *V.6.2. Chertes e/ou precipitados hidrotermais*

Os exemplares estudados de rochas quimiogénicas e precipitados hidrotermais correspondem essencialmente a massas fortemente deformadas de Qz micro a cripto-cristalino. A distinção entre chertes e precipitados hidrotermais nem sempre é clara devido à intensa deformação acomodada pelas rochas (ainda que heterogénea), a qual terá concorrido quer para a obliteração de microestruturas particulares (e.g. presença de texturas coloidais, características de fácies quimiogénicas cuja génese se deve à cristalização a partir de sílica-gel), quer para a identificação de aspectos mineralógicos específicos e suas transições para as unidades litológicas adjacentes (os contactos observados durante a reclassificação das sondagens são geralmente de natureza tectónica).

A deformação expressa-se principalmente sob a forma de: (i) recrystalização heterogénea da matriz, sendo frequente observar-se coalescência de grãos, culminando na génese de *patches* de Qz com contornos difusos ou indentados; (ii) subgranulação intercristalina e extinção ondulante do Qz que compõe a matriz; e (iii) fracturação, resultando na génese de abundantes descontinuidades com preenchimentos diversos.

Nas fácies quimiogénicas *s.l.* é comum a presença de descontinuidades preenchidas pela associação  $Qz + Chl \pm Msc \pm Py \pm Apy$ , a mesma que preenche as estruturas vacuolares presentes na matriz siliciosa (**Figura V.6m**). A Chl ocorre geralmente sob a forma de agregados grosseiros, contrariamente ao Qz que apresenta frequentemente granularidade mais fina que a matriz siliciosa. A Msc é pouco abundante, por oposição às fases sulfuretadas que ocorrem quer sob a forma de preenchimentos, quer em halos na sua dependência (**Figura V.6k**). Localmente, tanto a Py como a Apy ocorrem sob a forma de recrystalizações (sub)eudétricas com sombras de pressão de Qz (ainda que incipientes). Os contornos dos grãos de Py precoce (de menor dimensão), a partir dos quais se formaram os cristais de granularidade superior, podem ainda ser observados em vários domínios da rocha.









**Figura V.6** – (a) Aspecto textural macroscópico do exemplar de Jsp estudado. (b1) e (b2) Fotomicrografia em LTSP da matriz em domínios de preservação de textura coloidal primária, delineada por grãos de Hem, e respectiva EI onde se observa Mgt. (c1) e (c2) Fotomicrografia em LRSP de cristal de Mgt com deposição tardia de Ccp, e respectivos CM para os elementos Si, Al, Fe e K onde se regista a presença de Msc bordejando o cristal de Mgt. (d1) e (d2) Fotomicrografias em, respectivamente, LTSP e LTDP de estruturas vacuolares preenchidas por Qz + Chl + Msc, cortadas por veio de Qz. (e) EI de estruturas vacuolares fortemente achatadas, preenchidas por Chl + Msc + Hem + Mgt + Syn. (f) Fotomicrografia em LTSP de Hem + Ap no seio das estruturas vacuolares. (g) EI de Hem + Ap no seio de estruturas vacuolares. (h) Fotomicrografia em LTSP de veio de Chl bordejado por Hem + Mgt, e respectiva EI. (j) Fotomicrografia em LTDP de matriz quártzica fortemente recristalizada com formação de Stp ao longo dos contactos intercristalinos. (k) Fotomicrografia em LTDP de halo de Py associada a veio de Chl, tardiamente com formação de Stp + Qz. (l) Fotomicrografia em LTSP de formação de Stp associada a filonetes de Qz discretos. (m) Fotomicrografia em LTDP de estruturas vacuolares preenchidas por Qz + Chl. (n1) e (n2) EI e respectivos CM para os elementos Si, K, Al e Fe de agregados grosseiros em leque de Stp associados a filonetes discretos de Sd. (o) Fotomicrografia em LRSP e respectiva EI e CM para os elementos O, S e Fe, de massa de Py em decomposição para Po e (hidr)óxidos de Fe. (p) EI (e fotomicrografia) de formação de halos de ferrossilite(?) e Sd na dependência de veios de Qz + Mgt. (q) EI de banda de decomposição de Py para (hidr)óxidos de Fe com formação de ferrossilite (?) na dependência. (r) e (s) EI de deposição de Stp + (hidr)óxidos de Fe com consequente decomposição da Py para Po.

Não raramente, os espaços deixados pela recristalização incompleta da Py encontram-se preenchidos por Sp, sugerindo deposição posterior, pelo menos em parte, à  $Py \pm Apy$ . Para além destes sulfuretos, regista-se igualmente a presença de Ccp, a qual ocorre sob a forma de finos agregados disseminados na matriz siliciosa, pelo que a sua relação com a restante mineralização não é clara.

Em todos os exemplares estudados, observam-se domínios onde a Py se transforma em Po, traduzindo possíveis frentes de dessulfurização térmica. Este processo é acompanhado da deposição de Sd + Stp + (hidr)óxidos de Fe  $\pm$  Qz (**Figura V.6o,q,r,s**). Tanto o Cb como o Qz ocorrem invariavelmente ao longo de fracturas muito discretas sob a forma de agregados extremamente finos (**Figura V.6k,q,n**). O Stp na dependência destas descontinuidades desenvolve agregados em leque grosseiros (**Figura V.6l,n**), embora ocorra igualmente sob a forma de agregados muito finos ao longo dos contactos intergranulares de Qz que compõe a matriz (**Figura V.6j**). De entre os (hidr-)óxidos observados, salienta-se Mgt, Hem e Gth. Esta última possivelmente resultante da oxidação local da Mgt. Num exemplar particular (GS18-5A#14), este processo é acompanhado pelo desenvolvimento de halos pouco penetrativos (controlados por microfracturação) de ferrossilite (?) + Sd, na dependência de descontinuidades preenchidas por Qz + Mgt + Hem (**Figura V.6p,q**). Esta associação foi interpretada como resultado de recristalização síncrona da deformação de fases previamente depositadas.

No seio da matriz de Qz observam-se ainda secções rectangulares de Chl, possivelmente correspondendo a pseudomorfoses de fases primárias (reliquias de elementos vulcânicos?). Os bordos destas secções são marcados pela deposição de óxidos (não resolúveis à escala microscópica).

## V.7. Minérios

Examinaram-se 8 lâminas delgadas polidas documentando características texturais e mineralógicas distintas das lentículas de minério intersectadas pelas 4 sondagens. As diferenças observadas reflectem, na sua essência, a progressão heterogénea de processos similares, divergindo na intensidade dos efeitos preservados.

A amostra GS18-5A#50, preservando reliquias de rocha metassedimentar no seio da mineralização semi-maciça (**Figura V.7e**), representa o estágio mais precoce de sulfuretização, muito possivelmente contemporâneo dos processos diagenéticos. São comuns estruturas frambóides (agora parcialmente recristalizadas) de muito reduzida dimensão, dispostas no seio da matriz filossilicatada em níveis coplanares de  $S_0$  (transposto por  $S_1$ ) (**Figura V.7f**). A preservação de reliquias desta natureza sugere que a mineralização se encontre, pelo menos em parte, hospedada em rochas metassedimentares, e não apenas em unidades metavulcânicas. Os estádios de sulfuretização subsequentes são de natureza hidrotermal (**estádio I**) e correspondem a impulsos múltiplos, possivelmente associados a um evento único (com desenvolvimento polifásico), culminando na génese das lentículas intersectadas. Os agregados essencialmente piríticos ( $Py > 80\%$ ) incluem quantidades acessórias de fases como Sp, Gn e Ccp. A mineralização é tendencialmente maciça (até *ca.* de 5% de ganga), embora a proporção de

espaços intersticiais possa ser localmente maior (minério semi-maciço) e, nestas circunstâncias, os sulfuretos fazem-se acompanhar de  $Qz + Chl + Ser + Cb$ . A proporção relativa entre as fases que constituem a ganga varia bastante entre exemplares e nem sempre se observa a totalidade da associação mineral referida.

As diferenças texturais que determinam a organização interna dos minérios aparentam ser resultado da conjugação de características primárias, presumivelmente associadas ao processo de deposição dos sulfuretos, e secundárias, decorrentes da deformação. As características primárias manifestam-se sobretudo via desenvolvimento de bandados marcados por alternâncias, mais ou menos rítmicas, de níveis que se distinguem maioritariamente com base na granularidade da Py (**Figura V.7a**). Menos frequentemente, a preservação de características primárias é igualmente marcada pela presença de estruturas colomórficas de Py (**Figura V.7c,d**). Tardamente, a deformação terá sido responsável não apenas pela forte paralelização das várias bandas consecutivas (ainda que a intensidade varie entre exemplares), mas também pela acentuação dos contrastes granulométricos entre níveis, como consequência da recristalização fortemente heterogénea, em particular da Py (**Figura V.7i,j,k**).

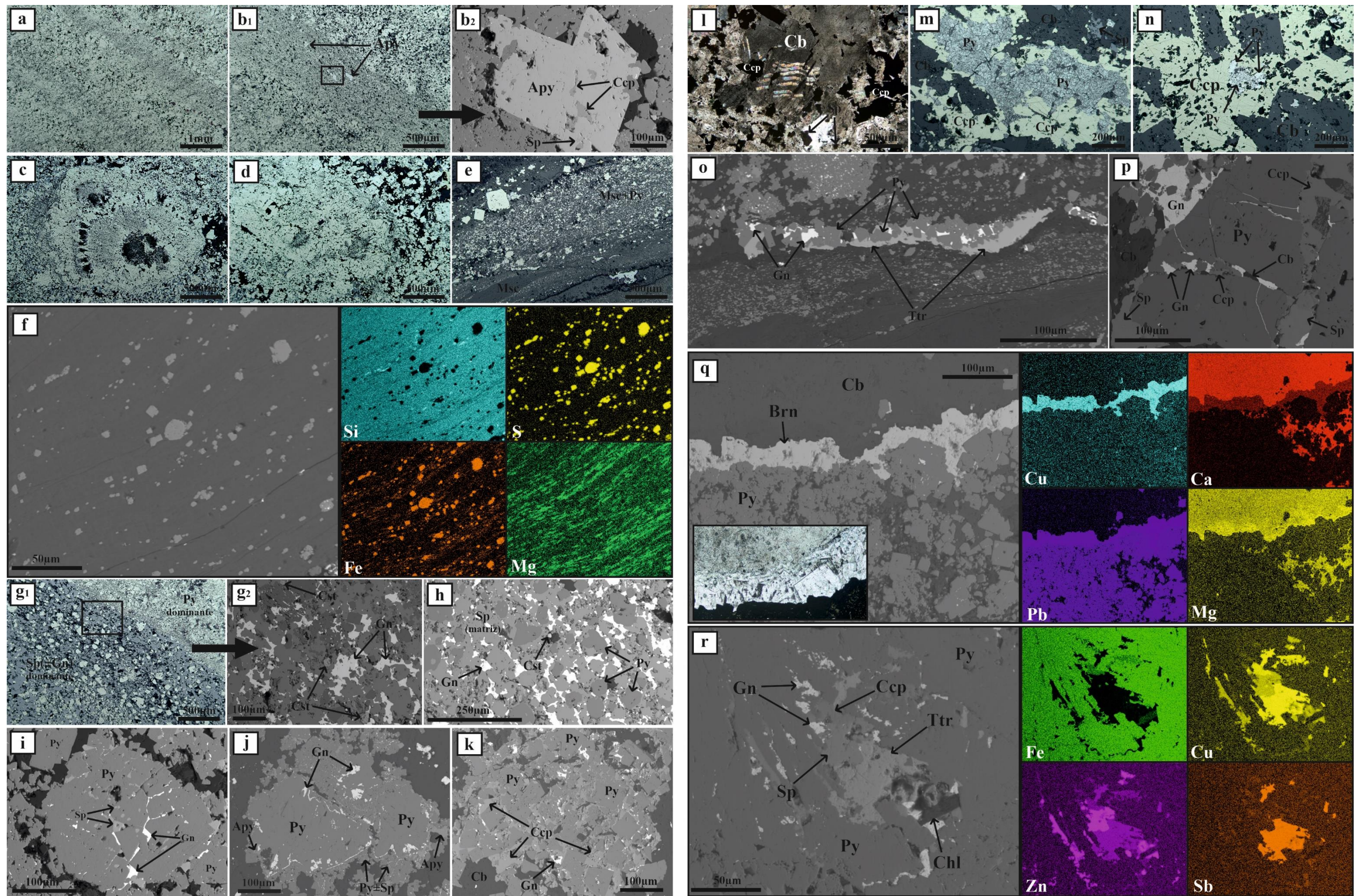
Não obstante a presença de quantidades acessórias de Sp e Gn que acompanham os bandados piríticos, o essencial destas fases minerais ocorre sob a forma de agregados dispostos ao longo de níveis bem definidos, coplanares do bandado (**Figura V.7g**). A Sp domina claramente sobre a Gn e ambas são acompanhadas, uma vez mais, de rara Ccp. Contrariamente às restantes bandas, nestes domínios, a Py é subordinada relativamente à Sp, e ocorre sistematicamente sob a forma de grãos euédricos (recristalizações) ou esboçando formas arredondadas (tipo exsoluções à “macro-escala”), com frequência apresentando inclusões das fases previamente depositadas. Ainda associados a estes níveis muito ricos em Sp, observam-se grãos de reduzida dimensão e fortemente corroídos de Cst (**Figura V.7g2,h**) que se dispõem ao longo de alinhamentos com a mesma orientação dos bandados. Apesar de constituir uma fase acessória, este óxido é relativamente comum, contudo, apenas foi observado nas bandas onde a Sp é dominante.

A amostra GS18-3#13 representa um veio mineralizado espesso ( $Py + Sp \pm Gn \pm Ccp \pm Apy$ ), hospedado em rocha metavulcanoclástica. As relações texturais observadas sugerem que a deposição das diferentes fases sulfuretadas, em particular da Py e da associação  $Sp + Gn$ , tenha ocorrido de forma polifásica (preenchimentos múltiplos) e que a formação de Sp e Gn suceda, pelo menos em parte, o essencial da deposição de Py. Aqui, é igualmente observável a presença de Cst, evidenciando as mesmas relações texturais anteriormente descritas.

Em todos os exemplares estudados, registam-se quantidades acessórias de Apy, sob a forma de cristais euédricos a subédricos de dimensão variável disseminados na matriz pirítica. Em alguns exemplares, a Apy associa-se a possíveis pequenos corredores de cisalhamento paralelos aos bandados; níveis de forte cominuição da Py, nos quais a Apy cresce preferencialmente orientada (**Figura V.7b1**). Alguns destes cristais de Apy apresentam inclusões de Py, Sp, Gn e Ccp (**Figura V.7b2**), sugerindo que a sua génese seja tardia relativamente à deposição das restantes fases sulfuretadas, possivelmente durante o processo de recristalização síncrono de deformação.

Como já referido, a Ccp associada aos estádios de sulfuretização anteriormente mencionados é acessória. Porém, em muitos exemplares estudados, registam-se quantidades apreciáveis desta fase mineral, em descontinuidades tardias (pois cortam a estruturação pré-existente), com dimensão e morfologia variáveis, preenchidas por abundante Cb (**Figura V.7l,p**) e, em menor quantidade  $Qz \pm Chl \pm Fl$  (**estádio II**). Para além da Ccp, estes preenchimentos são acompanhados de fracções subordinadas de uma associação sulfuretada relativamente diversa, geralmente constituída por Ttr, Brn, Gn, Sp, Py e Apy (**Figuras V.7o,p,q**). Para além da presença em veios, esta associação é ainda encontrada no seio da matriz, preenchendo espaços intersticiais (**Figura V.7r**), embora sempre na dependência espacial das descontinuidades seladas por Cb; quando estas atingem dimensões consideráveis (verdadeiros veios), como é o caso da amostra GS18-4#128, é possível identificar a presença de dolomite (**Figura V.7q**).









**Figura V.7** – (a) Fotomicrografia em LRSP de mineralização sulfureta maciça bandada (essencialmente Py). (b1) Fotomicrografia em LRSP de possíveis corredores tectónicos, com desenvolvimento de cristais de Apy preferencialmente orientados. (b2) EI de cristal de Apy com inclusões de fases sulfuretas como Ccp e Sp. (c) Fotomicrografia em LRSP de estrutura colomórfica de Py preservada no seio da matriz sulfureta (igualmente pirítica). (d) Fotomicrografia em LRSP de estruturas colomórficas de Py preservadas no seio de mineralização semi-maciça. (e) Fotomicrografia em LRSP de domínio de preservação de encaixante metapelítico no seio de mineralização sulfureta semi-maciça. (f) EI e respectivos CM para os elementos Si, S, Fe, Mg de Py framboidal variavelmente recristalizada em domínio de preservação de encaixante metapelítico em contexto de mineralização semi-maciça. (g1) Fotomicrografia em LRSP do contacto entre nível dominado por mineralização pirítica e nível dominado por Sp + Gn em contexto de mineralização maciça bandada. (g2) EI de nível dominado por Sp + Gn onde se observam grãos de Cst alinhados. (h) EI de Py desenvolvendo texturas tipo “exsolução” no seio da massa essencialmente esfalerítica. (i) EI de texturas de recristalização da Py (formada à custa de Py de menor dimensão previamente depositada) com espaços intersticiais cimentados por Sp + Gn. (j) EI de texturas de recristalização da Py, com deposição tardia de Gn e Apy. (k) Agregados de Py parcialmente recristalizada, cimentados por Cb + Ccp + Gn. (l) Fotomicrografia em LTDP de deposição tardia de Ccp + Sp associada a veios de Cb. (m) e (n) Fotomicrografia em LRSP de banda de degradação da Py no contacto entre veios de Cb + Ccp e mineralização sulfureta maciça. (o) EI de veio de Cb + Tr + Gn + Py tardia, cortando S<sub>1</sub>. Esta imagem corresponde a uma ampliação da descontinuidade em (e). (p) EI de Py cortada por fracturas preenchidas pela associação tardia, Cb + Ccp + Sp + Gn. (q) EI (e fotomicrografia em LTSP) e respectivos CM para os elementos Cu, Ca, Pb e Mg de veio possante de Cb + Brn. (r) EI e respectivos CM para os elementos Fe, Cu, Zn e Sb de preenchimento de espaços intersticiais de estrutura colomórfica de Py pela associação tardia Ccp + Tr + Sp + Gn.

Contrariamente ao que acontece com os minerais que constituem a ganga da mineralização precoce, as fases constituintes destes precipitados não aparentam registar grandes evidências de deformação (em particular o Qz que, apenas pontualmente, desenvolve ligeira extinção ondulante). Localmente, estas descontinuidades podem igualmente aproveitar a estruturação pré-existente. Embora no contexto geral da mineralização sulfureta maciça estas fases mais tardias se constituam como acessórias, podem ser localmente abundantes quando a densidade de descontinuidades é significativa (*e.g.* zonas de brechificação ou de intensa micro-fracturação), como testemunham os casos particulares das amostras GS19-1#63 e GS18-4#128. Nos locais onde a associação sulfureta tardia é abundante, desenvolvem-se “bandas” de Py muito degradada (**Figura V.7m,n**) no contacto entre domínios brechificados (posteriormente cimentados pelos sulfuretos tardios) e os que não registam essa fragmentação. Apesar de todas as fases minerais acima descritas terem sido observadas em contextos semelhantes, nem sempre é possível documentar a totalidade da associação de forma conjunta; esta última encontra-se tendencialmente melhor representada quanto maior a abundância de descontinuidades. É de notar, ainda, que a Apy associada a estes episódios, contrariamente à previamente depositada, ocorre sob a forma de agregados finos (**Figura V.7j**).

## VI. Química mineral

O presente capítulo tem como principal objectivo caracterizar do ponto de vista composicional as variações registadas pelas diferentes fases minerais identificadas durante o estudo petrográfico, no sentido de explorar a presença de possíveis marcadores de natureza geoquímica (*e.g.* ao nível dos elementos menores e traço) que auxiliem na discriminação de diferentes eventos de natureza hidrotermal *s.l.* e na produtividade desses mesmos eventos.

No caso particular dos minérios, a abordagem realizada pretende distinguir, sempre que possível, gerações associadas a episódios mineralizantes distintos, destacando-se com especial interesse os dois episódios de sulfuretação identificados durante a caracterização petrográfica (**episódio I e II**).

Embora identificada durante a obtenção de dados de química mineral, as análises de fluorite não produziram bons resultados, motivo pelo qual esta fase não será aqui abordada.

A caracterização das fases zircão e apatite pode ser consultada em anexo (secções XI.2.1.).

### VI.1. Grupo dos silicatos

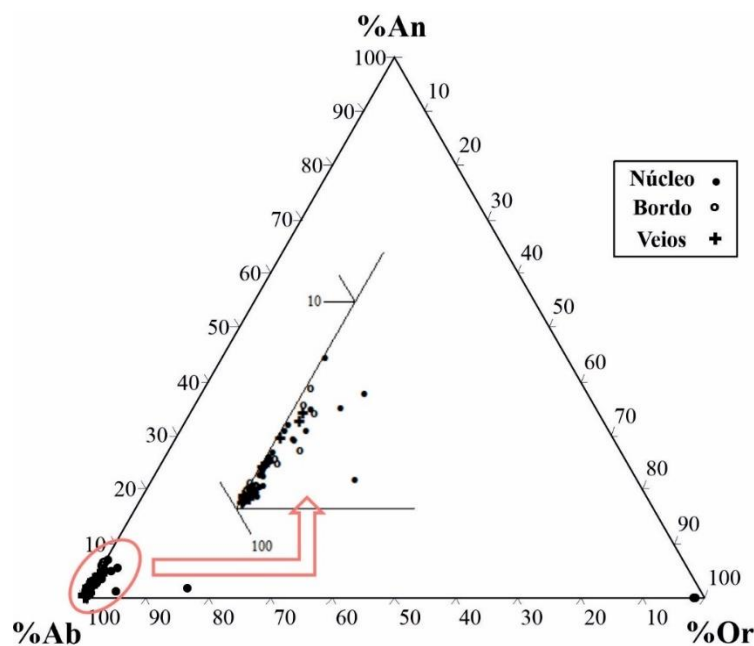
O grupo dos silicatos compreende a grande maioria da mineralogia, primária e secundária, constituinte das litologias estudadas. Nesta subsecção dar-se-á particular relevo aos feldspatos, filossilicatos, epídoto, titanite e zircão.

### VI.1.1. Feldspatos

Os feldspatos constituem a segunda mais abundante fase mineral observada nas unidades metavulcânicas *s.l.* estudadas (sendo a mais abundante o Qz) e a primeira nas unidades intrusivas. Os feldspatos ocorrem geralmente na matriz destas rochas sob a forma de fenocristais ou mineraloclastos, embora sejam também parte importante de alguns preenchimentos de veios. A composição química dos feldspatos é representada pela fórmula geral  $MT_4O_8$ , onde *T* e *M* (respectivamente, posições de coordenação tetraédrica e octaédrica) são idealmente ocupadas pelos catiões  $Si^{4+}$  e  $Al^{3+}$ , no primeiro caso, e  $K^+$ ,  $Na^+$  e  $Ca^{2+}$ , no segundo caso. Para as situações comuns, a variabilidade composicional dos feldspatos *s.l.* é convenientemente expressa no diagrama ternário Ab-An-Or ( $NaAlSi_3O_8 - CaAl_2Si_2O_8 - KAlSi_3O_8$ ), como mostra a **Figura VI.1**.

A **Figura VI.1** coloca em evidência duas famílias distintas de Fsp. A primeira, e certamente a mais bem representada, corresponde a plagioclases que representam os mineraloclastos e/ou fenocristais de rochas metavulcânicas *s.l.* e intrusivas, para além dos agregados constituintes dos precipitados minerais em veios. A segunda família ( $n=3$ ) corresponde a fenocristais de feldspato potássico ( $Ab_{1.59}An_{0.04}Or_{98.38}$ ) cuja presença apenas foi identificada num único exemplar de unidade metavulcânica coerente correspondente a fácies “química” RB.

A composição das plagioclases (fenocristais e/ou mineraloclastos) não difere significativamente, quer entre análises provenientes de diferentes fácies “químicas” de unidades metavulcânicas *s.l.* félsicas, quer entre estas e análises provenientes de exemplares de rochas intrusivas. Para ambos os conjuntos, detecta-se tendência marcada por ligeiro incremento em molécula albítica, do interior para a periferia dos cristais, acompanhado de ligeiro decréscimo das duas outras componentes, com excepção do bordo das rochas intrusivas que registam maior conteúdo em componente anortítica que o núcleo. Por outro lado, as composições obtidas para análises de plagioclase em veios aproximam-se mais das obtidas para o bordo dos grãos, registando os mais baixos conteúdos em  $Ca^{2+}$  e  $K^+$ .



**Figura VI.1** – Diagrama triangular Ab-An-Or, adaptado de Deer *et al.* (2008). Na legenda, *Núcleo* e *Bordo* correspondem a análises realizadas em fenocristais e mineraloclastos presentes em rochas metavulcânicas *s.l.* e intrusivas.

A composição média dos vários sub-grupos pode ser expressa da seguinte forma:

Vulcânicas: núcleo ( $n=23$ )  $Ab_{96.26}An_{2.54}Or_{1.20}$  e bordo ( $n=17$ )  $Ab_{97.29}An_{2.25}Or_{0.46}$

Intrusivas: núcleo ( $n=3$ )  $Ab_{97.29}An_{1.58}Or_{1.54}$  e bordo ( $n=3$ )  $Ab_{97.82}An_{1.92}Or_{0.26}$

Veios ( $n=11$ ):  $Ab_{96.52}An_{1.29}Or_{0.20}$

### VI.1.2. Filossilicatos

Os filossilicatos (clorites e as micas potássicas di-octaédricas, em particular) são importantes marcadores da acção de sistemas hidrotermais relacionados com mineralizações sulfuretadas maciças, uma vez que constituem, a par da associação  $Qz \pm$  sulfuretos  $\pm$  Cb, a associação de alteração característica dos halos nucleares e periféricos destes sistemas, respectivamente. Alguns autores (*e.g.* Barriga, 1983; Relvas, 2000; Carvalho 2016) consideram que a composição e abundância relativa destas fases representam potenciais indicadores de distância relativamente ao(s) eixo(s) mineralizante(s). Contudo, a génese destas fases minerais poderá também relacionar-se com metassomatismo oceânico ou metamorfismo regional. A discriminação de diferentes gerações destas fases com base em observações petrográficas, em particular as que se associam aos episódios hidrotermais ante-pico de deformação, é dificultada devido à relativa uniformidade das associações minerais (especialmente quando as fases sulfuretadas não estão presentes) e à intensa deformação/recristalização a que as rochas foram sujeitas. Como consequência, sempre que as observações petrográficas permitem distinguir diferentes gerações destas fases, reconhecê-las (e diferenciá-las caso possível) com base em critérios químicos, revela-se um exercício de maior importância, contribuindo para um melhor entendimento dos padrões geoquímicos de alteração associados à circulação de fluidos hidrotermais que concorrem para a génese de mineralizações.

Para além de Chl e mica branca, foi igualmente identificado stilpnomelano e minerais do grupo da caulinite. Os últimos minerais apenas foram identificados em exemplares de “cloritito”, associando-se ao preenchimento de fendas presumivelmente relacionadas com a instalação de pequenos corredores tectónicos que afectam a matriz clorítica. Contudo, possivelmente devido à reduzida dimensão dos grãos, as análises obtidas apresentam erros superiores a 2%, motivo pelo qual não serão aqui discutidas.

#### VI.1.2.1. Micas potássicas dioctaédricas

Nos exemplares estudados, as micas brancas ocorrem geralmente sob a forma de cristais com granularidade reduzida (Ser) e, mais raramente, sob a forma de cristais grosseiros, em particular quando associadas ao preenchimento de descontinuidades ou vacúolos, ou ainda quando resultantes da recristalização de leitos com importante componente argilosa (*e.g.* em rochas metapelíticas e metavulcanoclásticas). Não obstante a granularidade tendencialmente reduzida dos grãos, muitas vezes responsável pela aquisição de análises com erros superiores ao aceitável, foi possível obter um total de 71 análises quantitativas com erros inferiores a 2%, provenientes de diferentes litologias e fácies e representando eventos distintos. Estas análises foram, subsequentemente, agrupadas de acordo com a fácies e respectivo contexto textural (Matriz – **M**, Veios – **V**) e atendendo ainda à presença ou não de orientação preferencial dos cristais (respectivamente **O** e **NO**).

O espectro composicional que caracteriza o conjunto das micas analisadas pode ser explicado com base em 4 mecanismos de substituição catiónica: (i) vector di-/tri-octaédrico,  $3(R^{2+})^{vi} = 2(Al^{3+})^{vi} + \square^{vi}$ ; (ii) vector de Tschermark,  $(Si^{4+})^{iv} + (R^{2+})^{vi} = (Al^{3+})^{iv} + (Al^{3+})^{vi}$ ; (iii) vector que descreve a incorporação de Na na posição de coordenação dodecaédrica, substituindo o K; e (iv) vector que descreve a incorporação de catiões divalentes na posição de coordenação dodecaédrica,  $(R^{2+})_{xii} + 2Al_{iv} = 2Si_{vi} + \square_{xii}$ .

As micas cuja génese deverá ter ocorrido ante-pico de deformação (característica assinalada pela orientação preferencial dos cristais<sup>2</sup>) apresentam composições intermédias entre os termos moscovítico e fengítico (**Figura VI.2a2**), por oposição às micas cuja formação terá ocorrido pós-pico de deformação, as quais se deviam de forma significativa no sentido do termo fengítico. O grupo ante-deformação, é ainda caracterizado por maior conteúdo em catiões divalentes (em particular  $Ba^{2+}$ ) substituindo o  $K^{+}$  na posição de coordenação dodecaédrica, e menor conteúdo em  $Si^{4+}$ , o qual é compensado pelo aumento de  $Al^{3+}$  na posição de coordenação tetraédrica (**Figura VI.2c**). Este grupo de análises regista ainda

<sup>2</sup> Neste grupo inclui-se a Msc presente no Jsp, uma vez que, como referido na secção anterior, aparenta representar a mesma geração que preenche os veios, bem como a presente na matriz dos exemplares de minério (apesar de não orientadas).

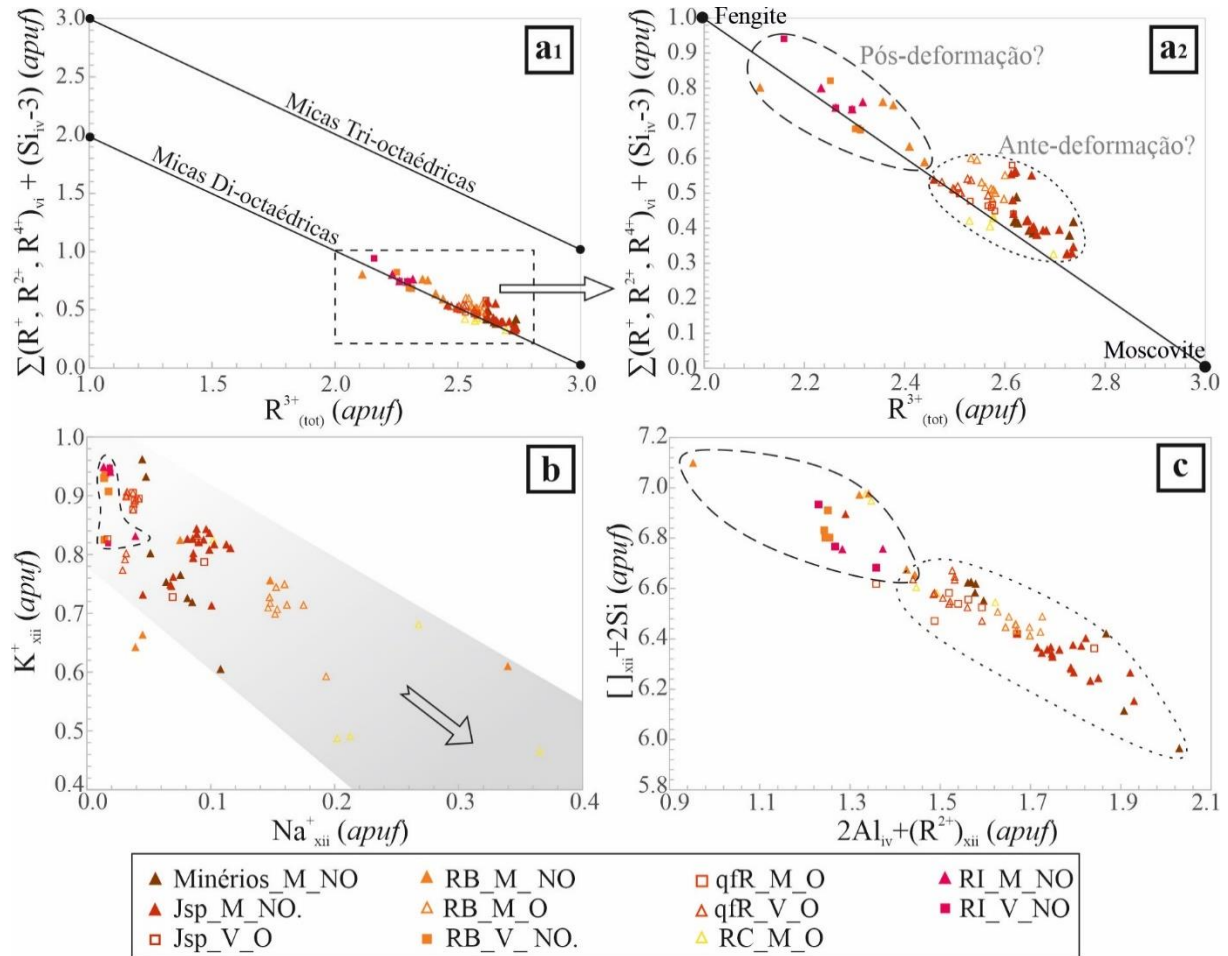


incorporação de quantidades significativas de  $\text{Na}^+$  substituindo o  $\text{K}^+$  (**Figura VI.2b**); esta substituição é particularmente relevante para as análises de micas brancas orientadas referentes às fácies “químicas” do tipo **RB** e **RC** em contexto de matriz. É de salientar que as análises pertencentes ao grupo **RB\_M\_NO** quebram a tendência composicional determinada pelos catiões divalentes em posição dodecaédrica, uma vez que incorporam quantidades significativas de Na.

A composição das micas potássicas dioctaédricas analisadas pode ser genericamente representada através de  $(\text{R}^{+}_{(1-x)}\text{R}^{2+}_{(x)})^{\text{xiii}}(\text{R}^{3+}_{(2-x)}(\text{R}^{2+}, \text{R}^{4+})_x)^{\text{vi}}(\text{R}^{4+}_{(3+x)}\text{R}^{3+}_{(1-x)})^{\text{iv}}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ . As composições medianas ( $n \geq 10$ ) dos diferentes grupos são:

Pós-deformação ( $n=21$ ):  $(\text{K}_{0.907}\text{Na}_{0.019}\text{Ca}_{0.003}\text{Ba}_{0.004})(\text{Al}_{1.679}\text{Mg}_{0.205}\text{Fe}^{2+}_{0.120})(\text{Si}_{3.361}\text{Al}_{0.639})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

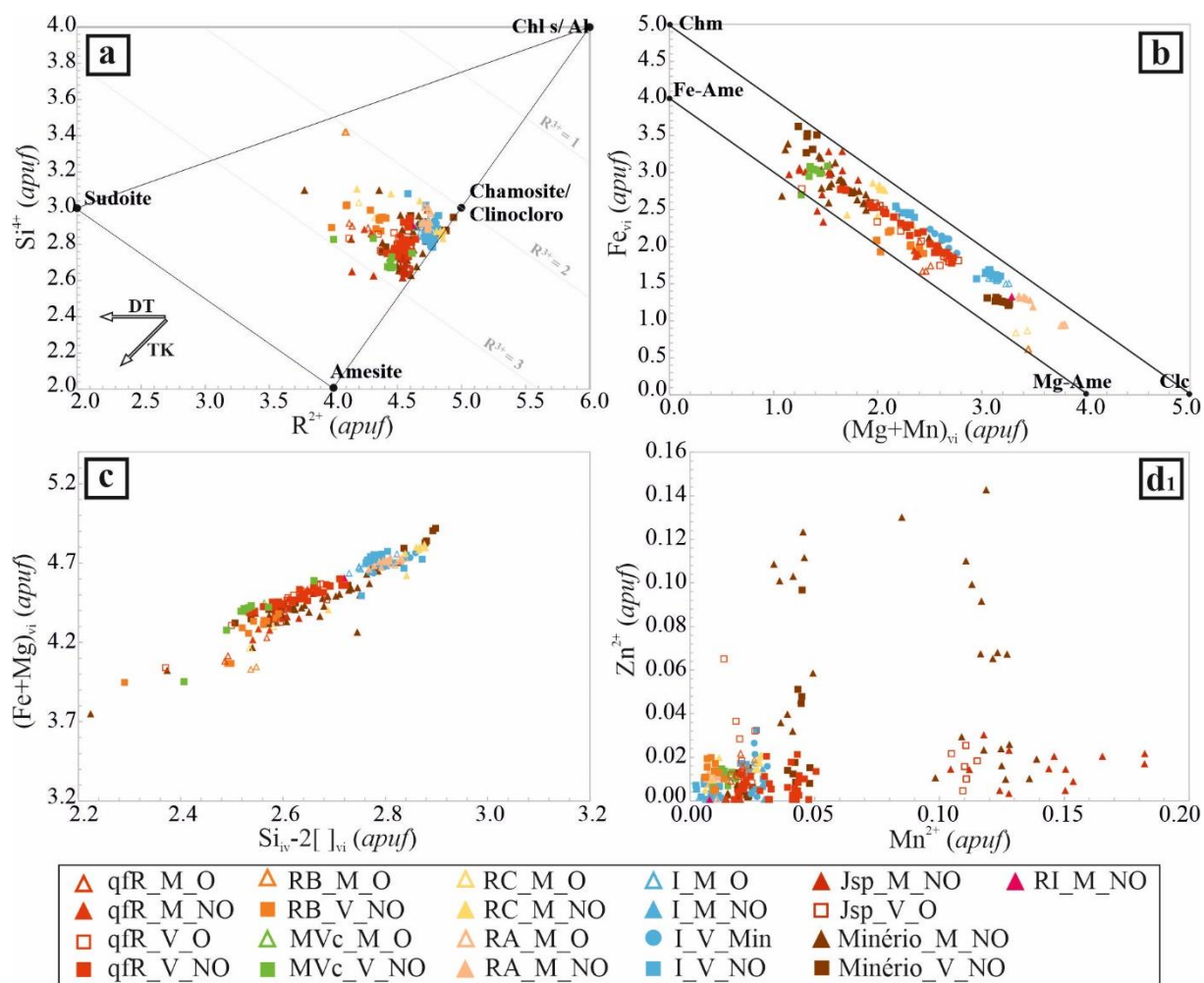
Ante-deformação ( $n=50$ ):  $(\text{K}_{0.808}\text{Na}_{0.089}\text{Ca}_{0.002}\text{Ba}_{0.008})(\text{Al}_{1.782}\text{Mg}_{0.129}\text{Fe}^{2+}_{0.148})(\text{Si}_{3.172}\text{Al}_{0.828})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$



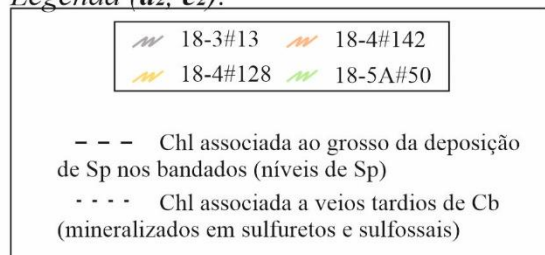
**Figura VI.2** – (a1) Carácter dioctaédrico das micas, não obstante os ligeiros desvios no sentido tri-octaédrico pontualmente apresentado por algumas análises. (a2) Expressão dos desvios fengíticos das micas devido à substituição Tschermak. (b) Projecção do vector que descreve a incorporação de  $\text{Na}^+$  na posição de coordenação dodecaédrica balanceada por trocas catiónicas em coordenação tetraédrica e abertura de vazios de ocupação dodecaédricos. (c) Projecção do vector que descreve a incorporação de catiões divalentes na posição de coordenação dodecaédrica.

#### VI.1.2.2. Clorites

Com vista à caracterização da variabilidade composicional das Chl obteve-se um total de 240 análises quantitativas com erro inferior a 2%, representativas de diferentes contextos litológicos e texturais. As análises foram agrupadas de acordo com a fácies, modo de ocorrência (*e.g.* matriz **M**, veios **V**) e existência ou não de orientação preferencial (respectivamente **O** e **NO**) tomando  $S_1$  como referência. Note-se que **Min** refere-se a veios mineralizados onde não foi possível determinar a relação com  $S_1$ .



*Legenda (d2, e2):*



**Figura VI.3** – (a) Projecção de  $\text{Si}^{4+}$  na posição de coordenação tetraédrica vs. total de cátions divalentes na posição de coordenação octaédrica, incluindo os vectores de substituição DT (di-/tri-ocatédrico) e TK (Tschermak), respectivamente  $3(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})^{\text{vi}} = 2\text{Al}^{\text{vi}} + \square^{\text{vi}}$  e  $\text{Si}^{\text{vi}} + (\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})^{\text{vi}} = \text{Al}^{\text{iv}} + \text{Al}^{\text{vi}}$ . (b) e (c) Documentam os principais mecanismos de substituição para o conjunto de clorites analisadas, expressos respectivamente através das equações (i)  $(\text{Fe}^{2+})^{\text{vi}} = (\text{Mg} + \text{Mn}^{2+})^{\text{vi}}$  e (ii)  $\text{Si}^{\text{iv}} + (\text{R}^{2+})^{\text{vi}} = \text{Al}^{\text{iv}} + \text{Al}^{\text{vi}}$  e  $3(\text{R}^{2+})^{\text{vi}} = 2(\text{R}^{3+})^{\text{vi}} + \square^{\text{vi}}$  onde  $\text{R}^{2+}$  corresponde ao total de cátions divalentes e  $\text{R}^{3+}$  ao total de cátions trivalentes (maioritariamente Al). (d1) e (d2) Projecção Zn vs. Mn, respectivamente, para a totalidade das análises e para as análises referentes a exemplares de minério. Note-se que as envolventes assinaladas em (d2) apenas pretendem ilustrar os *clusters* maiores, não obstante a presença de pontos que se desviam das tendências gerais. Ainda em (d2), as barras assinaladas (1 a 3) pretendem esquematizar a possível relação entre o conteúdo em Mn e o contexto no qual ocorrem. (e1) e (e2) Projecção Mg vs. Mn, respectivamente, para a totalidade das análises e para as realizadas em exemplares de minério. As barras assinaladas em ambos os gráficos pretendem comparar os espectros de valores de Mg que caracterizam Chl provenientes de exemplares de minério e investigar a possibilidade de transposição de tendências para Chl representativas de diferentes contextos litológicos.

Observando a **Figura VI.3a** verifica-se que a generalidade das análises efectuadas se espraia entre composições próximas dos termos Chm/Clc e o extremo Ame, denunciando a importância do vector de substituição TK, apesar da relevância do vector DT para alguns grupos de análises (e.g. **RB\_V\_NO**). Os desvios mais significativos no sentido amesítico são registados por análises de Chl referentes a exemplares fortemente mineralizados ou inclusos em fácies cuja génese se encontra presumivelmente associada ao desenvolvimento dos sistemas hidrotermais que concorrem para a génese das lentículas de sulfuretos. No gráfico da **Figura VI.3b**, verifica-se igualmente que este conjunto de análises regista os conteúdos mais elevados em Fe (e mais baixos em Mg + Mn). Note-se que a excepção a este padrão corresponde às análises realizadas no “cloritito” (em agregados orientados ou não, **RA\_M\_O/NO**), as quais apresentam os valores mais elevados em Mg registados.

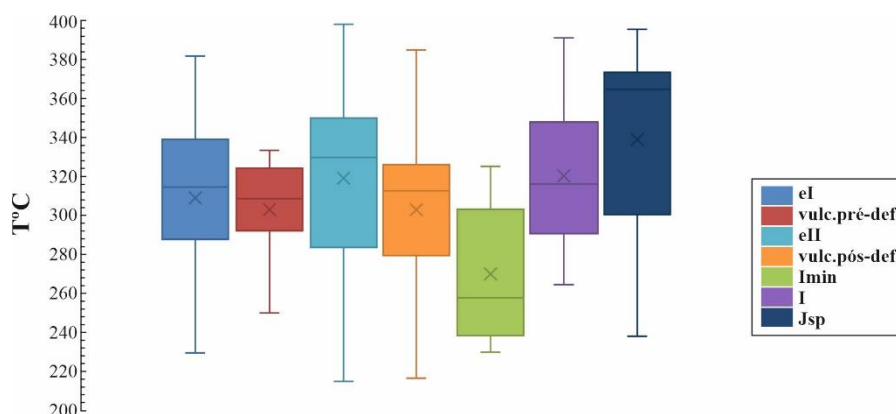
Para a generalidade das análises realizadas em contexto de matriz, a apreciação individual de cada fácies revelou diferenças de composição entre Chl orientadas e não orientadas (**Figura VI.3b**). Tendencialmente, os agregados orientados de Chl são mais ricos em (Mg + Mn), por oposição aos não orientados, cujas composições são mais ricas em Fe. Contudo, esta distinção não é aplicável às análises como um todo. No que respeita à Chl em contexto de veios, a variabilidade composicional é ampla, não sendo possível proceder a distinções entre subgrupos com ou sem orientação preferencial.

A distribuição de elementos menores, como o Zn e Mn, é fortemente assimétrica (**Figura VI.3d1**). Destaca-se com particular interesse os conteúdos díspares em Mn apresentados pela generalidade das Chl em várias fácies estudadas e aquelas que se confinam às amostras de jaspe e alguns minérios. Relativamente aos conteúdos em Zn, salientam-se os incrementos significativos apresentados por algumas análises realizadas em contexto de minério. No sentido de investigar o significado destas variações de composição, projectaram-se apenas as análises realizadas em exemplares de minério (**Figura VI.3d2**), destacando-se a existência de 2 conjuntos distintos, associados a eventos igualmente distintos. O primeiro, englobando Chl associada ao evento de mineralização precoce (**estádio I**) que conduziu à deposição do essencial da Sp nos bandados, é caracterizado por conteúdos em Zn mais elevados; o segundo agrega Chl cuja génese se encontra presumivelmente associada à deposição tardia de Cb, sulfuretos e sulfossais (**estádio II**), caracterizado por conteúdos mais baixos em Zn. Ainda nesta figura, é tentativamente feita a diferenciação entre contextos de mineralização distintos, com base nos conteúdos em Mn apresentados pelas Chl: (1) sector onde a mineralização tardia (associada a veios de Cb) é dominante; (2) exemplares de mineralização predominantemente semi-maciça, com domínios de preservação de encaixante, pouco penetrativa ou restrita a descontinuidades com limites bem definidos (e.g. veios, ainda que espessos); e (3) exemplar em contexto de mineralização fortemente maciça (proporção de espaços intersticiais muito reduzida).

Nos gráficos **e1** e **e2** da **Figura VI.3** projectam-se os conteúdos em Mg e Mn, respectivamente, da totalidade das análises e apenas de Chl em contexto de mineralização. As barras pretendem assinalar os espectros de variação composicional em Mg apresentados pela generalidade de análises de Chl em contexto de minério (**e2**), na tentativa de transpor essa informação para as restantes análises (**e1**). De acordo com o gráfico da **Figura VI.3e1** verifica-se que: (i) apenas as amostras fortemente mineralizadas (e.g. MVe) ou aquelas cuja génese se encontra presumivelmente associada ao desenvolvimento dos sistemas hidrotermais mineralizantes (Jsp) se projectam sobre o campo que caracteriza a generalidade

das análises referentes a domínios mineralizados; **(ii)** as Chl referentes ao exemplar 18-5A#50 afastam-se de forma significativa das restantes análises em contexto de mineralização, registando maior conteúdo em Mg; **(iii)** a generalidade das análises realizadas em contexto vulcânico *s.l.* ou intrusivo apresentam valores intermédios (entre ambos os casos acima) de Mg, com excepção das análises preferencialmente orientadas em contexto de matriz de “cloritito”, **RA** e **RB** e não orientadas de “cloritito”, cujos conteúdos em Mg são superiores.

No sentido de estudar a amplitude das condições de temperatura que tipificam os diferentes eventos em que ocorre formação de Chl, e uma vez que a variabilidade composicional que caracteriza os minerais deste grupo permite estimar a correspondente temperatura de cristalização, procedeu-se à aplicação do geotermómetro de base termodinâmica proposto por Lanari *et al.* (2014). Neste sentido, as análises de Chl foram divididas em: **(i) eI** (*episódio I*), inclui Chl em amostras de minério onde o episódio mineralizante precoce é dominante; **(ii) eII** (*episódio II*), agrupa Chl em amostras de minério onde o episódio mineralizante tardio domina; **(iii) vulc.pré-def.** (*vulcânicas pré-deformação*), inclui Chl preferencialmente orientadas na matriz ou em veios em unidades metavulcânicas *s.l.*; **(iv) vulc.pós-def.** (*vulcânicas pós-deformação*), remete para Chl sem orientação preferencial, em matriz ou veios observados em unidades metavulcânicas *s.l.*; **(v) Imin** (*intrusivas mineralizadas*), compreende Chl em veios mineralizados hospedados em unidades intrusivas; **(vi) I** (*intrusivas*), agrupa Chl na matriz e em veios não mineralizados em unidades intrusivas; e **(vii) Jsp** (*jaspe*), inclui Chl que preenchem veios (orientadas) e vesículas (não orientadas).



**Figura VI.4** – Diagramas *boxplot* representando a dispersão dos valores de temperatura obtidos através do modelo proposto por Lanari *et al.* (2014) para os diferentes grupos de Chl definidos.

Os diferentes grupos apresentam, de forma geral, assinalável amplitude de variação das condições de temperatura (**Figura VI.4**). Não obstante, os valores medianos obtidos para **eI**, **vulc.pré-def.**, **I** e **vulc.pós-def.** são muito semelhantes e remetem para temperaturas de formação da ordem dos 309-316°C. O valor mediano que caracteriza **eI** sugere, porém, um ligeiro incremento na temperatura de formação das Chl. É digna de nota a diferença entre as temperaturas obtidas para **Imin** relativamente a **I**, registando importante decréscimo da temperatura destas Chl. O grupo **Jsp** devolveu o mais alto valor mediano de temperatura; no entanto, tal deve-se presumivelmente ao elevado conteúdo em Mn, o qual conduz, por limitações inerentes à metodologia de cálculo, a estimativas incorrectas do conteúdo em

**Tabela VI.1** – Estatística descritiva referente aos dados de temperatura obtidos para os diferentes grupos de Chl definidos.

	<i>Média</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>NC (95%)</i>	<i>n</i>
<b>eI</b>	309	315	40	382	229	15	31
<b>Vulc.pré-def.</b>	303	309	25	333	250	12	18
<b>eII</b>	319	330	49	398	215	22	21
<b>Vulc.pós-def.</b>	303	314	37	385	217	10	54
<b>Imin</b>	270	258	36	325	230	18	9
<b>I</b>	320	316	34	391	264	20	25
<b>Jsp</b>	339	365	45	395	238	22	18



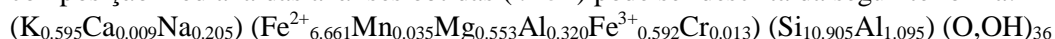
$\text{Fe}^{3+}$  e, consequentemente, valores de temperatura mais altos. A estatística descritiva para os valores de temperatura obtidos para os diferentes grupos consta da **Tabela VI.1**.

A composição das clorites analisadas pode ser genericamente representada através da seguinte fórmula:  $[\text{R}^{2+}_{(6-x-3y)} (\text{R}^{3+}, \text{R}^{4+})_{(x+2y)} \square_y]^{vi} [\text{Si}^{4+}_{(4-x)} \text{Al}^{3+}_x]^{iv} (\text{OH})_8$ . Com efeito, as composições medianas ( $n \geq 10$ ) são expressas da seguinte forma:

<b>eI:</b>	$(\text{Fe}^{2+}_{2.584} \text{Mg}_{1.818} \text{Mn}^{2+}_{0.109} \text{Zn}_{0.027} \text{Al}_{1.387} \square_{0.053}) (\text{Si}_{2.749} \text{Al}_{1.251}) (\text{OH})_8$
<b>vulc.pré-def.:</b>	$(\text{Fe}^{2+}_{1.792} \text{Mg}_{2.666} \text{Mn}^{2+}_{0.020} \text{Zn}_{0.011} \text{Al}_{1.366} \square_{0.093}) (\text{Si}_{2.855} \text{Al}_{1.145}) (\text{OH})_8$
<b>eII:</b>	$(\text{Fe}^{2+}_{3.046} \text{Mg}_{1.373} \text{Mn}^{2+}_{0.015} \text{Zn}_{0.010} \text{Al}_{1.420} \square_{0.079}) (\text{Si}_{2.827} \text{Al}_{1.173}) (\text{OH})_8$
<b>vulc.pós-def.:</b>	$(\text{Fe}^{2+}_{2.082} \text{Mg}_{2.310} \text{Mn}^{2+}_{0.021} \text{Zn}_{0.009} \text{Al}_{1.357} \square_{0.078}) (\text{Si}_{2.871} \text{Al}_{1.129}) (\text{OH})_8$
<b>Imin:</b>	$(\text{Fe}^{2+}_{1.910} \text{Mg}_{2.731} \text{Mn}^{2+}_{0.024} \text{Zn}_{0.003} \text{Al}_{1.209} \square_{0.048}) (\text{Si}_{2.892} \text{Al}_{1.108}) (\text{OH})_8$
<b>I:</b>	$(\text{Fe}^{2+}_{1.680} \text{Mg}_{3.059} \text{Mn}^{2+}_{0.012} \text{Zn}_{0.006} \text{Al}_{1.212} \square_{0.029}) (\text{Si}_{2.836} \text{Al}_{1.164}) (\text{OH})_8$
<b>Jsp:</b>	$(\text{Fe}^{2+}_{2.989} \text{Mg}_{1.381} \text{Mn}^{2+}_{0.128} \text{Zn}_{0.014} \text{Al}_{1.410} \square_{0.036}) (\text{Si}_{2.680} \text{Al}_{1.320}) (\text{OH})_8$

### VI.1.2.3. Stilpnomelano

Não obstante a presença pontual de stilpnomelano na matriz das rochas metavulcânicas félsicas, em particular das fácies coerentes, a ocorrência desta fase secundária é mais comum em fácies quimiogénicas. O Stp ocorre quer sob a forma de agregados em leque grosseiros que se desenvolvem na dependência de descontinuidades, quer sob a forma de grãos e/ou agregados de granularidade reduzida que ocupam os espaços intersticiais da matriz de Qz. Devido ao número limitado de exemplares seleccionados para estudos de química mineral, apenas foi possível obter análises para as fácies quimiogénicas. Note-se que, durante o processamento de dados, a partição Fe II/FeIII foi realizada com base no excesso/défice de cargas, assumindo como negligenciável o *input* de elementos como Mn. A composição mediana das análises obtidas ( $n=34$ ) pode ser descrita da seguinte forma:

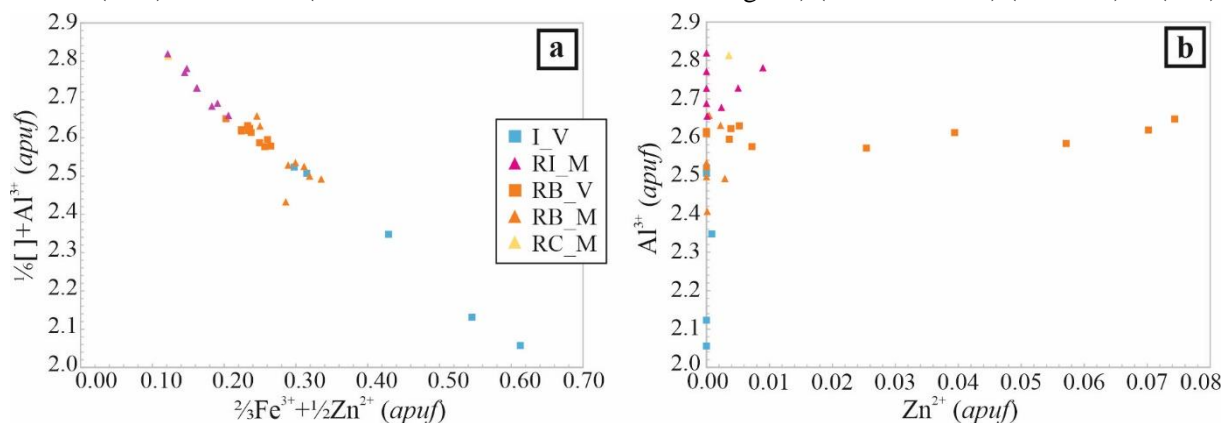


### VI.1.3. Epidotos

Os minerais da série epidoto-clinozoisite são fases secundárias comuns nas rochas metavulcânicas *s.l.* e intrusivas, e ocorrem substituindo fases pré-existent (primárias?) ou preenchendo veios. No sentido de estudar a sua variabilidade composicional, obtiveram-se 34 análises quantitativas com erro inferior a 2%, representativas de diferentes unidades “químicas” metavulcânicas *s.l.* e intrusivas e, sempre que possível, representando contextos distintos (Veios – V ou Matriz – M).

A fórmula geral que descreve os minerais do grupo do epidoto é expressa através de:  $\text{A}_2 \text{M}_3 (\text{T}_2 \text{O}_7) (\text{TO}_4) \text{O} (\text{OH})$ . As composições médias ( $n < 10$ ) e medianas ( $n \geq 10$ ) obtidas para os vários grupos definidos são:

<b>I_V (<math>n=5</math>):</b>	$\text{Ca}_{2.001} (\text{Al}_{2.310} \text{Fe}^{3+}_{0.660} \text{V}_{0.007} \text{Mn}^{3+}_{0.002} \text{Zn}_{0.000} \text{Mg}_{0.003}) (\text{Si}_{2.007} \text{Ti}_{0.003} \text{O}_7) (\text{Si}_{1.000} \text{O}_4) \text{O} (\text{OH})$
<b>RI_M (<math>n=8</math>):</b>	$\text{Ca}_{2.005} (\text{Al}_{2.730} \text{Fe}^{3+}_{0.246} \text{V}_{0.003} \text{Mn}^{3+}_{0.002} \text{Zn}_{0.002} \text{Mg}_{0.012}) (\text{Si}_{1.988} \text{Ti}_{0.003} \text{O}_7) (\text{Si}_{1.000} \text{O}_4) \text{O} (\text{OH})$
<b>RB_V (<math>n=11</math>):</b>	$\text{Ca}_{1.997} (\text{Al}_{2.612} \text{Fe}^{3+}_{0.350} \text{V}_{0.002} \text{Mn}^{3+}_{0.002} \text{Zn}_{0.007} \text{Mg}_{0.003}) (\text{Si}_{2.013} \text{Ti}_{0.002} \text{O}_7) (\text{Si}_{1.000} \text{O}_4) \text{O} (\text{OH})$
<b>RB_M (<math>n=8</math>):</b>	$\text{Ca}_{1.959} (\text{Al}_{2.532} \text{Fe}^{3+}_{0.437} \text{V}_{0.001} \text{Mn}^{3+}_{0.005} \text{Zn}_{0.001} \text{Mg}_{0.003}) (\text{Si}_{2.053} \text{Ti}_{0.001} \text{O}_7) (\text{Si}_{1.000} \text{O}_4) \text{O} (\text{OH})$
<b>RC_M (<math>n=2</math>):</b>	$\text{Ca}_{1.995} (\text{Al}_{2.813} \text{Fe}^{3+}_{0.181} \text{V}_{0.000} \text{Mn}^{3+}_{0.007} \text{Zn}_{0.004} \text{Mg}_{0.005}) (\text{Si}_{1.975} \text{Ti}_{0.006} \text{O}_7) (\text{Si}_{1.000} \text{O}_4) \text{O} (\text{OH})$



**Figura VI.5** – (a) Projecção do vector que traduz a incorporação de  $\text{Zn}^{2+}$  em posição de coordenação octaédrica. (b) Projecção  $\text{Al}^{3+}$  vs.  $\text{Zn}^{2+}$ , evidenciando a incorporação de Zn em algumas análises.

De forma geral, as análises obtidas para as diferentes fácies e contextos texturais representam composições intermédias entre os termos da solução sólida epidoto-clinozoisite. Com particular interesse, destacam-se as análises obtidas para o grupo **RB\_V**, as quais documentam quantidades reduzidas de Zn substituindo catiões na posição M (**Figura VI.5a,b**). É importante salientar que estas análises correspondem a Ep associados a alinhamentos de Chl + Cb junto a um veio mineralizado espesso (maioritariamente Py + Sp).

#### *VI.1.4. Silicato de Fe*

Num exemplar particular de cherte (GS18-5A#14), observou-se uma fase de natureza indeterminada associada à deposição de Sd + Stp + (hidr)óxidos de Fe. No sentido de proceder à sua identificação, realizaram-se 15 análises quantitativas. O erro analítico é, com frequência, superior a 2%, apesar dos resultados obtidos serem bastante consistentes (% de óxidos constantes e totais analíticos entre 93 e 95), remetendo para uma fase silicatada de ferro. Tentativamente, durante o processamento dos dados, foi realizado o ajuste à estequiometria da ferrossilite; em média, a razão Fe/Si em *apuf* ronda os 0.75 e produz um excesso de cargas de *ca.* de 0.25. Outras fases minerais foram igualmente testadas, mas a melhor aproximação corresponde a ferrossilite/clinoferrossilite ( $\text{FeSiO}_3$ ).

#### VI.2. Grupo dos carbonatos

Os carbonatos são fases secundárias comuns na generalidade das fácies estudadas, sendo particularmente abundantes em exemplares de rochas metavulcânicas, metassedimentares e intrusivas. Os carbonatos ocorrem tipicamente sob a forma de preenchimentos de descontinuidades, ou em halos associados a essas descontinuidades (de natureza, dimensão e morfologia diversas), preenchendo também espaços intersticiais da matriz das rochas ou em corredores preferenciais de alteração.

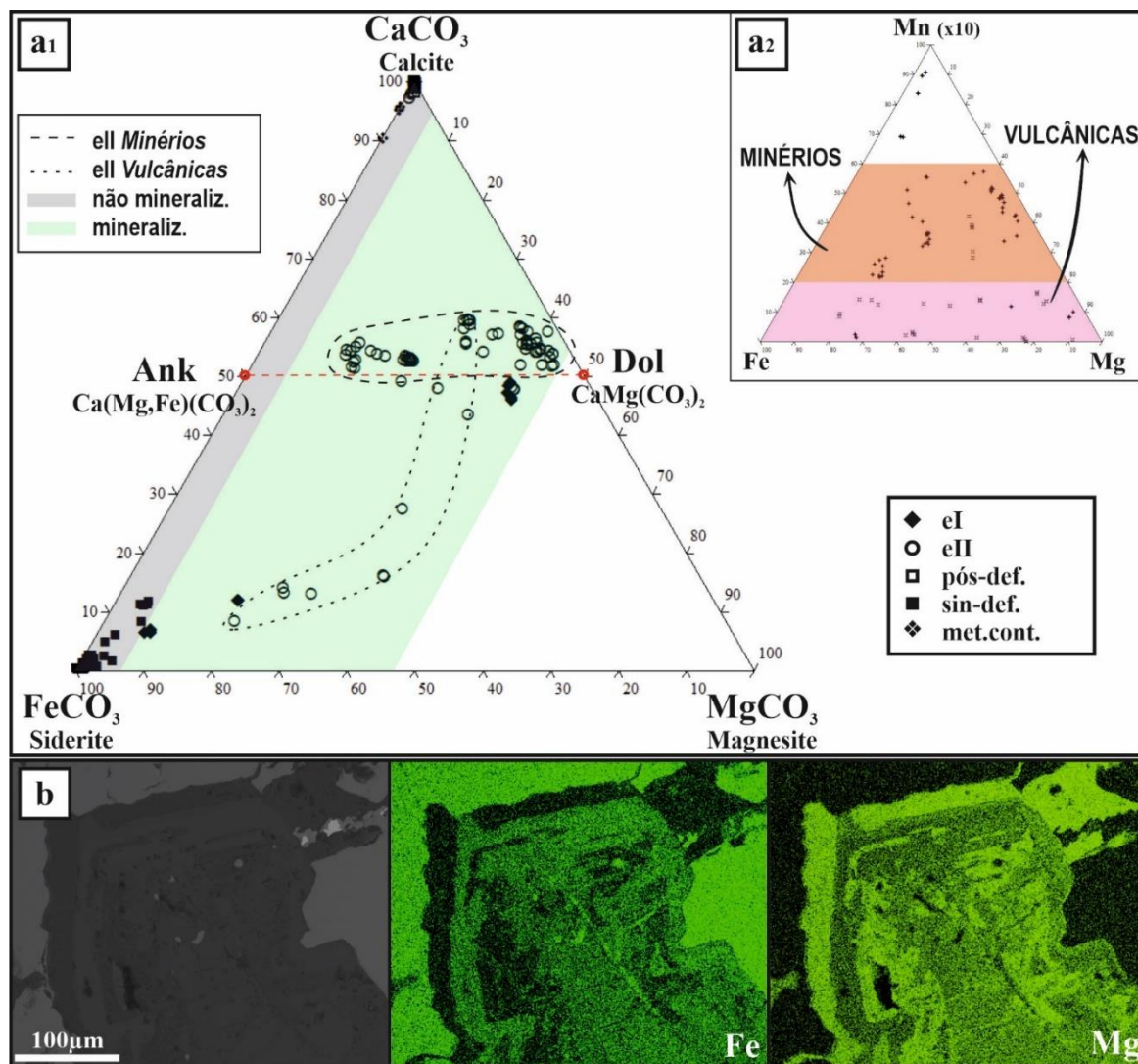
O estudo petrográfico das diferentes litologias e fácies estudadas permitiu distinguir: **(i) eI (episódio I)**, associados aos episódios precoces de mineralização, cuja presença é geralmente acompanhada de  $\text{Qz} \pm \text{Chl} \pm \text{Ser} \pm \text{sulfuretos}$ ; **(ii) eII (episódio II)**, associados a episódios tardios de mineralização, tipicamente acompanhados da deposição de uma associação mineral mais diversa do que aquele que caracteriza os episódios precoces; **(iii) pós-def. (pós-deformação)**, incluindo carbonatos tardi- a pós-tectónicos, relacionados ou com os estádios finais da deformação ou com acidentes frágeis tardios; **(iv) sin-def. (sin-deformação)** – embora igualmente tardios, este grupo separa os carbonatos em associação com fases tipicamente metamórficas, como o stilpnomelano; **(v) met.cont. (metamorfismo de contacto)**, compreende os carbonatos presumivelmente associados a episódios metassomáticos desencadeados pelo metamorfismo de contacto síncronos da instalação dos corpos intrusivos.

No sentido de estudar a variabilidade composicional que caracteriza cada um dos grupos definidos, obtiveram-se 156 análises quantitativas. A composição dos diferentes grupos é apresentada recorrendo à média ou mediana, consoante  $n < 10$  ou  $n \geq 10$ . Observando o gráfico da **Figura VI.6a1**, verifica-se que: **(i)** Os carbonatos aos quais se associa mineralização (**eI** e **eII**), contrariamente aos restantes grupos, registam importantes variações composicionais;

**(ii) pós-def. ( $n=29$ )** e **met.cont. ( $n=15$ )** correspondem invariavelmente a Cal muito próxima da composição ideal (respectivamente  $\text{Ca}_{0.98}$  e  $\text{Ca}_{0.99}$ ), não obstante algumas análises registarem ligeiro incremento em Fe, em particular as do grupo **met.cont.**. A presença sistemática de pequenos conteúdos em Mn ( $\text{Mn}_{0.01}$ ) aparenta tipificar as análises de **pós-def.**;

**(iii) sin-def. ( $n=26$ )** correspondem a Sd ( $\text{Fe}_{0.96}\text{Mg}_{0.01}\text{Ca}_{0.01}$ ), onde o Fe se encontra parcialmente substituído por quantidades reduzidas de Ca e Mg;

**(iv)** As análises correspondentes a **eI** separam-se em dois *clusters* distintos: Sd ( $n=5$ ;  $\text{Fe}_{0.81}\text{Mg}_{0.10}\text{Ca}_{0.07}$ ) e Fe-Dol ( $n=6$ ;  $\text{Ca}_{0.91}\text{Mg}_{0.82}\text{Fe}_{0.26}\text{Mn}_{0.01}$ ). Relativamente ao primeiro, é de notar a presença sistemática de quantidades não negligenciáveis de Zn ( $\text{Zn}_{0.01}$ );



**Figura VI.6** – (a1) Projecção da totalidade de análises de Cb duplos e simples, de acordo com os diferentes grupos estabelecidos, no diagrama ternário  $\text{FeCO}_3\text{-CaCO}_3\text{-MgCO}_3$ . Os campos representam tendências gerais. (a2) Projecção das análises referentes ao grupo **eII** no diagrama  $\text{Fe-10Mn-Mg}$  em *apuf*. (b) EI de Cb referente ao grupo **eII** e respectivos CM para os elementos Fe e Mg.

(v) O grupo **eII** é aquele que regista maior amplitude composicional, sendo possível distinguir-se diferentes *clusters* com base no contexto litológico (*minérios*, *metavulcânicas* e *metapelitos*). Em contexto metapelítico ( $n=5$ ), este grupo é caracterizado por Cal com composição próxima da ideal ( $\text{Ca}_{0.98}\text{Mn}_{0.01}\text{Fe}_{0.01}$ ). Em contexto metavulcânico *s.l.* ( $n=18$ ), as análises obtidas correspondem a carbonatos duplos cuja amplitude composicional se deve essencialmente a variações nos conteúdos em Fe e Ca ( $\text{Ca}_{1.14-0.32}\text{Fe}_{0.24-1.04}\text{Mg}_{0.65-0.62}\text{Mn}_{0.01}$ ). Por sua vez, em contexto de minério, este grupo é caracterizado por composições intermédias entre os extremos Ank e Dol, que se separam de forma marcada em dois conjuntos distintos ( $n=27$ ,  $\text{Ca}_{1.03}\text{Fe}_{0.52}\text{Mg}_{0.41}\text{Mn}_{0.05}$  e  $n=25$ ,  $\text{Ca}_{1.06}\text{Fe}_{0.10}\text{Mg}_{0.77}\text{Mn}_{0.08}$ ). Apesar da composição dos carbonatos em “contexto de minério” corresponder também a termos intermédios da série Ank-Dol, estes distinguem-se dos carbonatos em “contexto metavulcânico” com base nos conteúdos significativos em Mn apresentados pelos primeiros (**Figura VI.6a2**). A análise sistemática revelou, do núcleo para o bordo dos cristais, empobrecimento sistemático em Fe, o qual é compensado proporcionalmente pela incorporação de Mg. Tal sugere que os maiores conteúdos em Fe representem estádios precoces de deposição, por oposição aos maiores conteúdos em Mg, que deverão representar os estádios finais (**Figura VI.6b**).

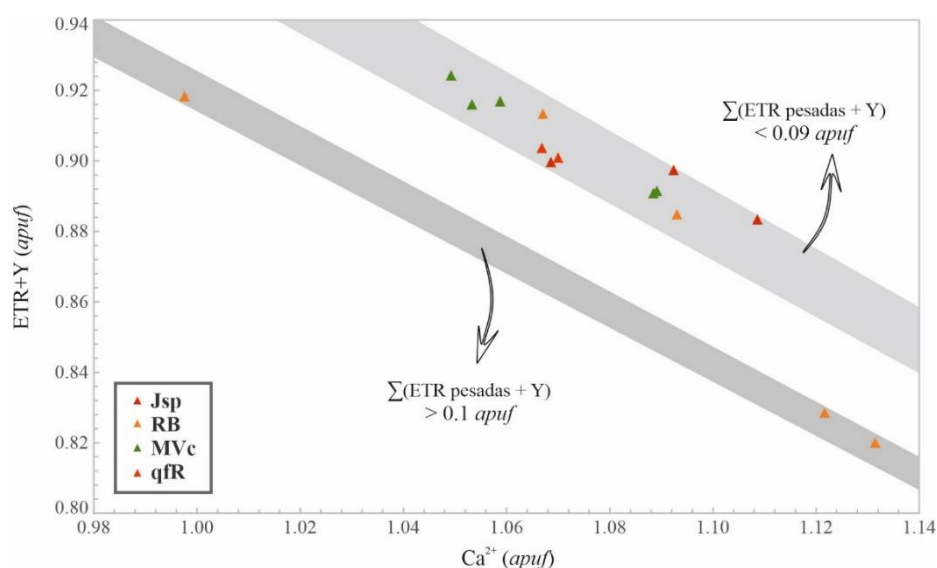
Importa referir a presença comum de fluorcarbonatos do tipo synchysite ( $\text{CaR}^{3+}(\text{CO}_3)_2\text{F}$ ), onde  $\text{R}^{3+}$  = catiões pertencentes ao grupo ETR e Y, em exemplares de fácies metavulcânicas *s.l.*, metassedimentares e quimiogénicas. Tipicamente, estas fases minerais ocorrem sob a forma de agregados de reduzida dimensão (geralmente sub-microscópica) e as relações texturais observadas sugerem que a sua deposição seja relativamente tardia: preenchem espaços intersticiais ou pequenas fracturas que cortam a estruturação pré-existente, associadas à deposição de fases como Brt + Fl + Cb + Qz + Chl e, pontualmente, fases sulfuretas (como Ccp e Gn).

No sentido de estudar a variabilidade composicional dos fluorcarbonatos obtiveram-se 15 análises quantitativas com erro inferior a 2% em diferentes fácies.

Atendendo ao gráfico da **Figura VI.7**, constata-se a existência de dois grupos, que se distinguem com base nos conteúdos em ETR pesadas e leves:

$\text{Ca}_{1.068}(\text{Er}_{0.001}\text{Ho}_{0.006}\text{Dy}_{0.013}\text{Gd}_{0.012}\text{Eu}_{0.006}\text{Sm}_{0.024}\text{Nd}_{0.155}\text{Pr}_{0.046}\text{Ce}_{0.372}\text{La}_{0.222}\text{Y}_{0.039})(\text{CO}_3)_2\text{F}_{0.573}$  ( $n=12$ )

$\text{Ca}_{1.115}(\text{Er}_{0.005}\text{Ho}_{0.018}\text{Dy}_{0.030}\text{Gd}_{0.049}\text{Eu}_{0.002}\text{Sm}_{0.045}\text{Nd}_{0.147}\text{Pr}_{0.033}\text{Ce}_{0.230}\text{La}_{0.174}\text{Y}_{0.104})(\text{CO}_3)_2\text{F}_{0.529}$  ( $n=3$ )



**Figura VI.7** – Projecção ETR+Y vs.  $\text{Ca}^{2+}$  para a totalidade das amostras referentes a diferentes fácies. Os campos assinalados pretendem ilustrar diferentes grupos.

### VI.3. Grupo dos fosfatos

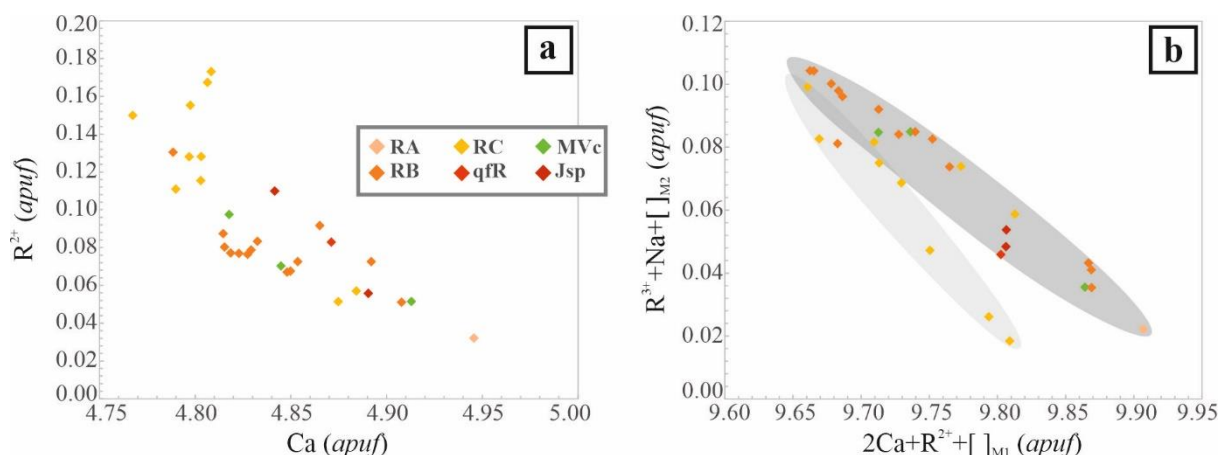
Embora em quantidades acessórias, a apatite e a monazite são fases vulgares na maioria dos exemplares estudados, em particular em fácies metavulcânicas *s.l.*. Geralmente ocorrem ambas associadas a agregados de zircão, titanite e óxidos de Fe e Ti, sob a forma grãos subédricos algo fracturados e com bordos corroídos. Porém, o número limitado de lâminas seleccionadas para estudos de química mineral e a reduzida dimensão dos grãos, não permitiram obter análises quantitativas de monazite com erros aceitáveis à sua correcta caracterização do ponto de vista composicional, pelo que apenas será aqui tratada a apatite.

#### VI.3.1. Apatite

A fórmula ideal da apatite é dada por  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ . No sentido de estudar a variabilidade composicional desta fase, obtiveram-se 34 análises quantitativas com erro inferior a 2%.

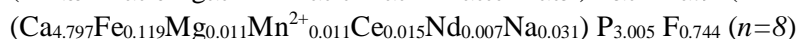
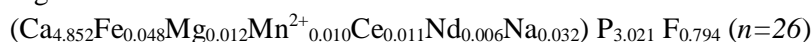
A **Figura VI.8a** mostra que os desvios à composição ideal das análises obtidas para as diferentes fácies são, maioritariamente, fruto de substituições ao nível do Ca por catiões divalentes (essencialmente  $\text{Fe}^{2+}$ ). É igualmente importante ter em conta as substituições do Ca por catiões trivalentes e monovalentes, compensadas por entrada/perda (respectivamente) de F, considerando igualmente a abertura de vazios. Com efeito, na **Figura VI.8b** projecta-se o vector conjugado que traduz a totalidade de substituições ao nível do Ca por catiões  $\text{R}^+$ ,  $\text{R}^{2+}$  e  $\text{R}^{3+}$ .





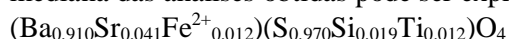
**Figura VI.8** – (a) Projecção  $R^{2+}$  vs. Ca, ilustrando as substituições entre cátions divalentes e o Ca. (b) Projecção do vector conjugado que traduz a totalidade das substituições ao nível do Ca, por cátions mono, di e trivalentes. As envolventes assinaladas pretendem ilustrar tendências gerais.

As substituições que envolvem a entrada de cátions  $R^{3+}$  e, em especial,  $R^{2+}$  são particularmente relevantes para a maioria das análises da fácies “química” **RC**, todas elas referentes ao mesmo exemplar (GS18-3#63). Atendendo às duas tendências distintas, assinaladas no gráfico da **Figura VI.8b**, as composições média ( $n < 10$ ) e mediana ( $n \geq 10$ ) que caracterizam os dois grupos podem ser descritas da seguinte forma:



#### VI.4. Grupo dos sulfatos

A barite ( $\text{BaSO}_4$ ) é uma fase secundária pouco comum nos exemplares estudados; a sua presença apenas foi identificada em amostras de unidades metavulcânicas *s.l.*, sob a forma de pequenos agregados, muitas vezes com dimensão inferior ao diâmetro do feixe de electrões, o que condicionou a obtenção de análises quantitativas com erros aceitáveis. Contudo, no exemplar GS18-3#63 (fácies “química” **RC**), onde a Brt ocorre em quantidade significativa, foi possível obter um total de 13 análises com erro inferior a 2%. Os desvios à composição ideal apresentados pelas análises são resultado da incorporação de cátions  $R^{2+}$  na posição do Ba e, com menor importância, de cátions  $R^{4+}$  na posição do S. Com efeito, a composição mediana das análises obtidas pode ser expressa da seguinte forma:



#### VI.5. Grupo dos óxidos

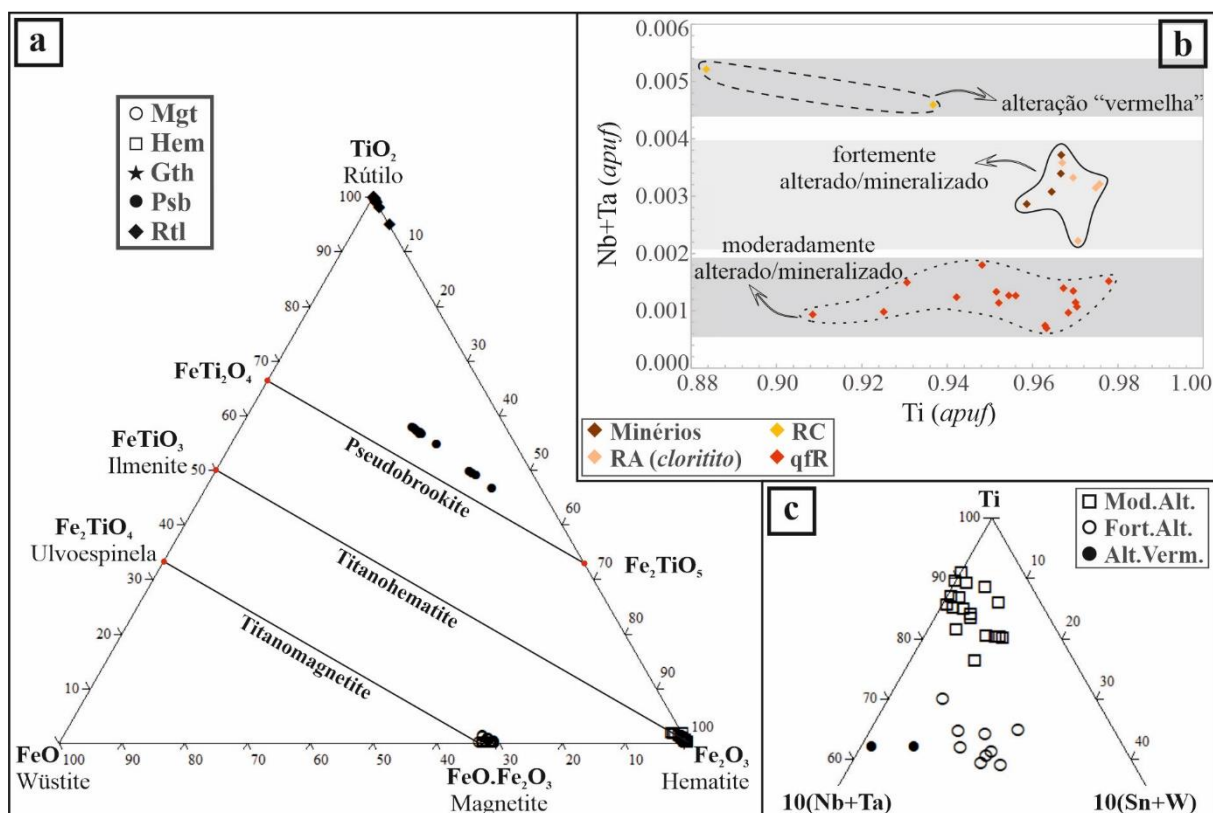
##### VI.5.1. Fases de Fe e/ou Ti

Os óxidos são ubíquos na generalidade dos exemplares estudados, integrando associações primárias e secundárias. Com o propósito de estudar a sua variabilidade composicional, obtiveram-se 143 análises quantitativas com erro inferior a 2%, das quais 55 correspondem a Mgt, 23 a Hem, 30 a Psb e 29 a Rtl. A reduzida granularidade dos grãos de Gth condicionou bastante o trabalho analítico, tendo sido possível obter apenas 6 análises com erro inferior a 2%. No caso particular da Psb, a partição FeII/FeIII, durante o processamento de dados, teve em conta o excesso/déficé de cargas, assumindo negligenciável a contribuição de elementos como o Mn ( $\approx \text{MnO} < 0.05\%$  e  $\text{Mn}_2\text{O}_3 < 0.1\%$ ).

Na **Figura VI.9a**, projectam-se os diferentes grupos no digrama ternário FeO-TiO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ilustrando a lata amplitude de variação composicional que caracteriza as fases de Ti-Fe contrariamente às fases de Fe, as quais tendem a formar conjuntos mais restritos e próximos das respectivas composições ideais.

Atendendo às observações petrográficas, as análises de Mgt foram subdivididas em 3 grupos distintos: (i) **sin-def.** (*sin-deformação*), associadas a fases tipicamente metamórficas (*e.g.* Stp); (ii) **alt** (*alteração*), associadas às zonas caracterizadas por abundância de fases óxidas de Fe (Hem + Mgt) que conferem tonalidade vermelhas às rochas; e (iii) **Jsp** (*jaspe*), presentes no seio da matriz do jaspe. As composições médias ( $n < 10$ ) e medianas ( $n \geq 10$ ) dos diferentes grupos de Mgt podem ser expressas da seguinte forma:

**sin-def.** ( $n=5$ ):  $(\text{Fe}^{2+}_{1.031}\text{Co}_{0.003}\text{Ca}_{0.001})(\text{Fe}^{3+}_{1.923}\text{Si}_{0.038}\text{V}_{0.001})\text{O}_4$   
**alt** ( $n=33$ ):  $(\text{Fe}^{2+}_{0.995}\text{Zn}_{0.001}\text{Co}_{0.003}\text{Ca}_{0.001})(\text{Fe}^{3+}_{1.990}\text{Si}_{0.004}\text{Al}_{0.001})\text{O}_4$   
**Jsp** ( $n=17$ ):  $(\text{Fe}^{2+}_{1.002}\text{Pb}_{0.001}\text{Zn}_{0.001}\text{Co}_{0.004})(\text{Fe}^{3+}_{1.964}\text{Ti}_{0.003}\text{Si}_{0.001}\text{V}_{0.003}\text{Al}_{0.002})\text{O}_4$



**Figura VI.9** – (a) Projecção da totalidade das análises de (hidr)óxidos de Fe e/ou Ti no diagrama triangular FeO-TiO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (adaptado de Butler 1992, 2004). (b) Projecção Nb + Ta vs. Ti referente a análises de Rtl. As envolventes e campos assinalados pretendem colocar em evidência tendências gerais com base nos conteúdos em (Nb + Ta) e Ti para diferentes contextos. (c) Projecção das análises de Rtl (em apuf) no diagrama triangular 10(Nb+Ta) – Ti – 10(Sn+W), demonstrando a separação clara entre os diferentes grupos definidos em (b).

À semelhança da Mgt, o estudo petrográfico permitiu a subdivisão das análises de Hem em dois grupos distintos: **alt** (*alteração*) e **Jsp** (*jaspe*). As composições, média ( $n < 10$ ) e mediana ( $n \geq 10$ ), são:

**alt** ( $n=7$ ):  $(\text{Fe}^{3+}_{1.942}\text{W}_{0.001}\text{Nb}_{0.001}\text{Ti}_{0.023}\text{Si}_{0.005}\text{Al}_{0.001}\text{Fe}^{2+}_{0.021}\text{Co}_{0.002})\text{O}_3$

**Jsp** ( $n=16$ ):  $(\text{Fe}^{3+}_{1.972}\text{Nb}_{0.001}\text{Ti}_{0.008}\text{Si}_{0.001}\text{V}_{0.003}\text{Al}_{0.001}\text{Fe}^{2+}_{0.006}\text{Zn}_{0.001}\text{Co}_{0.003})\text{O}_3$

A Gth apenas foi observada em exemplares de chertes *s.l.* presumivelmente associada à oxidação local da Mgt. A composição média deste grupo é:  $(\text{Fe}^{3+}_{0.978}\text{S}_{0.002}\text{Si}_{0.015}\text{Al}_{0.001}\text{Co}_{0.001}\text{Ca}_{0.001}\text{Mg}_{0.001})\text{O}(\text{OH})$ .

As análises de Psb apresentam composições intermédias entre os extremos composicionais teóricos FeTi<sub>2</sub>O<sub>4</sub> e Fe<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub>, desviando-se igualmente no sentido do pseudorútilo (Fe<sub>2</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>9</sub>) – **Figura VI.9a**. Durante o processamento numérico destas análises, no sentido de ajustar as composições obtidas a uma estequiometria, privilegiou-se a hipótese de se tratarem de pseudobrookites, onde parte do Fe<sup>3+</sup> se encontra parcialmente substituído por Ti e, por conseguinte, parte do Fe total figurará como Fe<sup>2+</sup> para compensar o excesso de cargas gerado pela introdução de Ti na posição idealmente ocupada pelo Fe<sup>3+</sup>. A opção descartada antevia a possibilidade das análises representarem pseudorútilos onde parte do Fe<sup>3+</sup> se encontraria a substituir a posição do Ti, com consequente défice de cargas. Contudo, esta opção implicaria necessariamente um défice de cargas superior, o que acabou por favorecer a estequiometria alternativa, (Fe<sup>3+</sup>, Ti<sup>4+</sup>, Fe<sup>2+</sup>)<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub>. Deste modo, a composição mediana deste grupo é:  $(\text{Fe}^{3+}_{0.849}\text{Ti}_{0.669}\text{Fe}^{2+}_{0.465}\text{Mn}^{3+}_{0.001}\text{Al}_{0.001}\text{Pb}_{0.001}\text{Co}_{0.002}\text{Ca}_{0.001})(\text{Ti}_{0.999}\text{Si}_{0.001})\text{O}_5$

Algumas análises de Rtl registam ligeiros desvios no sentido do pseudorútilo (**Figura VI.9a**). Considerando as observações petrográficas, o gráfico da **Figura VI.9b** permite distinguir, com base nos conteúdos em (Nb+Ta) e Ti apresentado pelas análises de Rtl, diferentes contextos, consoante o tipo e grau de alteração e/ou mineralização a que rochas foram sujeitas: (i) **Fort.Alt.** (*fortemente alterado/mineralizado*), incluem Rtl em exemplares de minério ou fácies intensamente alteradas, como é o caso do “cloritito”; (ii) **Mod.Alt.** (*moderadamente alterado/mineralizado*), abarcam Rtl em contexto metavulcânico *s.l.* com indícios de alteração e mineralização; e (iii) **Alt.Verm.** (*alteração “vermelha”*), contém Rtl em domínios com abundantes óxidos de Fe (Mgt + Hem). A separação das análises com base nos diferentes contextos petrográficos permitiu igualmente perceber que os desvios observados na **Figura VI.9a** são assinalados por análises pertencentes ao grupo **Fort.Min.** Finalmente, a projecção destas análises no diagrama ternário da **Figura VI.9c**, o qual permite apreciar a incorporação de (Nb+Ta) e (Sn+W) na posição idealmente ocupada pelo Ti, demonstra a separação clara entre os diferentes grupos, marcada por desvios significativos, em particular dos grupos **Alt.Verm.** e **Fort.Alt.**, no sentido Nb+Ta e, com menor expressão, do grupo **Fort.Alt.** no sentido Sn+W, relativamente ao grupo **Mod.Alt.**. As composições médias ( $n < 10$ ) e mediana ( $n \geq 10$ ) obtidas para os diferentes grupos de Rtl são:

**Alt.Verm.** ( $n=2$ ):  $(\text{Ti}_{0.910}\text{Nb}_{0.004}\text{Ta}_{0.001}\text{Si}_{0.039}\text{Fe}^{3+}_{0.001}\text{Al}_{0.022}\text{Zn}_{0.001}\text{Ca}_{0.003}\text{Mg}_{0.002})\text{O}_2$

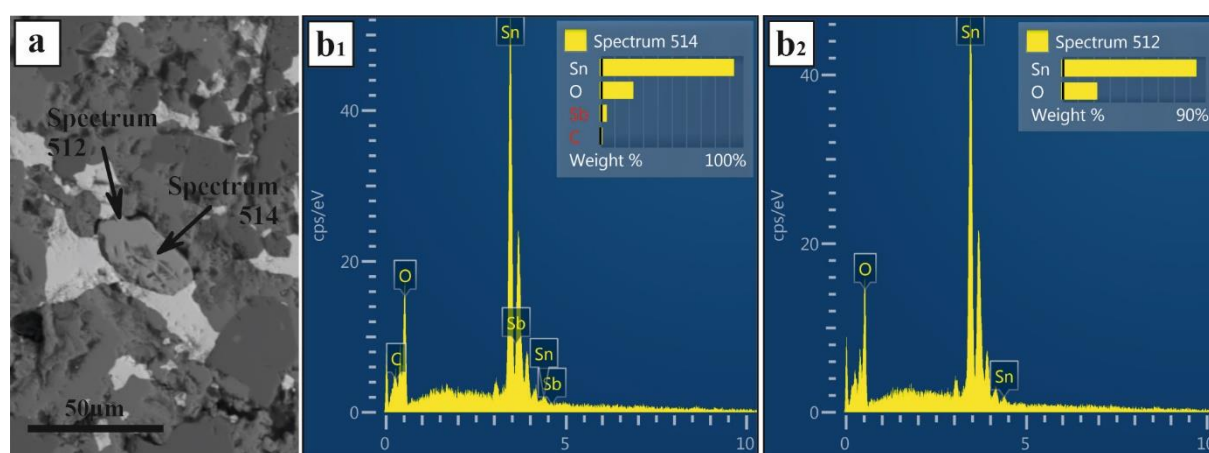
**Mod.Alt.** ( $n=18$ ):  $(\text{Ti}_{0.955}\text{Nb}_{0.001}\text{Si}_{0.016}\text{Fe}^{3+}_{0.003}\text{Al}_{0.009}\text{Ca}_{0.001}\text{Mg}_{0.001})\text{O}_2$

**Fort.Alt.** ( $n=9$ ):  $(\text{Ti}_{0.967}\text{W}_{0.002}\text{Nb}_{0.003}\text{Sn}_{0.001}\text{Si}_{0.004}\text{Fe}^{3+}_{0.007}\text{Al}_{0.002}\text{Ca}_{0.003}\text{Mg}_{0.002})\text{O}_2$

#### VI.5.2 Cassiterite

Para além dos (hidr-)óxidos de Fe e/ou Ti, foi igualmente registada a presença de Cst em amostras de minério maciço (nos níveis ricos em Sp  $\pm$  Gn) ou em veios mineralizados espessos ricos em Sp. Tipicamente, a Cst ocorre sob a forma de grãos não resolúveis à escala microscópica que se apresentam muito degradados, fracturados e com bordos corroídos e/ou arredondados.

Não obstante não ter sido possível obter análises quantitativas de qualidade (erro  $< 2\%$ ), é importante referir que os espectros EDS realizados em grãos de cassiterite registam sistematicamente ligeiros picos em Sb. Salienta-se ainda que, de acordo com os dados disponíveis, o conteúdo em Sb aparenta ser superior quando associado ao núcleo dos cristais, por oposição aos seus bordos que, tendencialmente, apresentam espectros representativos de composições mais próximas da ideal (**Figura VI.10a,b,c**).



**Figura VI.10** – (a) EI de cristal de Cst associado aos níveis ricos em Sp  $\pm$  Gn nos minérios bandados. (b1) e (b2) correspondem a espectros EDS referentes, respectivamente, ao núcleo e bordo do cristal em (a).

#### VI.6. Grupo dos sulfuretos e sulfossais

Os sulfuretos são fases comuns nos exemplares estudados, ocorrendo em diversos contextos texturais (*e.g.* veios ou matriz). O estudo petrográfico das várias fácies permitiu distinguir dois episódios principais de mineralização: (i) **eI** (*episódio I*), marcado pela deposição do essencial da Py e, subsequentemente, de Sp  $\pm$  Gn, associado ao desenvolvimento das lentículas de sulfuretos maciços intersectadas pelas sondagens; e (ii) **eII** (*episódio II*), representando a mineralização associada à

deposição de abundante Cb em descontinuidades, posterior à formação das lenticulas sulfuretadas. O estudo de química mineral foi conduzido no sentido de caracterizar a composição das diferentes fases que acompanham cada um destes episódios, considerando igualmente a possibilidade de existirem variações composicionais síncronas do crescimento mineral, de certo modo assinaladas por diferenças entre núcleo e bordo (**N** e **B**, respectivamente).

#### VI.6.1. Pirite

A Py é o sulfureto mais abundante (*ca.* de 80-90 do vol.%) dos minérios (semi-)maciços, sendo uma fase menor ou acessória nas restantes litologias estudadas. Obtiveram-se 247 análises quantitativas com erro inferior a 2% em 15 exemplares, das quais 175 correspondem a grãos formados durante **eI** (126 e 49 referentes a, respectivamente, **N** e **B**) e 72 a grãos cujo desenvolvimento é imputável a **eII** (58 e 14 referentes a, respectivamente, **N** e **B**).

Tendencialmente, Py associadas a **eI** apresentam desvios significativos à composição ideal, marcados pela incorporação assinalável de catiões divalentes (em particular Zn) na posição do Fe (**Figura VI.11a**). Por outro lado, Py associadas a **eII**, tendem a apresentar composições mais homogêneas e próximas da ideal. A exceção a esta tendência prende-se com um grupo particular de análises referentes a *late*, cujos desvios significativos não são explicados na sua totalidade pela incorporação de (Zn+Cu+Pb), todas elas associadas a exemplares de minério semi-macizo que preserva encaixante metapelítico (“minério em pelito”). Dada a notável distinção composicional que caracteriza este conjunto particular de análises, serão daqui para a frente tratadas de forma independente (**P**, *pelito*). É de salientar ainda os conteúdos superiores em Co enquanto elemento-traço na Py gerada durante **eII**. No que respeita a diferenciação entre bordo e núcleo, a concentração em elementos não estequiométricos tende a ser menor no bordo, com excepção de Au e Ag em Py referente a **eII**, cuja concentração é tendencialmente superior no bordo. No caso particular do grupo **P**, as análises referentes ao bordo registam enriquecimentos anómalos (relativamente quer ao núcleo, quer aos restantes grupos) em elementos como Cu, Mn, Sb, As, Ni e Ag (ver exemplo da **Figura VI.11b**). A composição mediana ( $n > 10$ ) de cada grupo pode ser expressa da seguinte forma:

**N-eI:**  $(\text{Fe}_{0.993}, \text{Zn}_{0.002})(\text{S}_{1.997})$

**B-eI:**  $\text{Fe}_{0.993}(\text{S}_{1.999}\text{As}_{0.001})$

**N-eII:**  $\text{Fe}_{0.995}(\text{S}_{2.000}\text{As}_{0.001})$

**B-eII:**  $\text{Fe}_{0.998}\text{S}_{1.998}$

**N-P:**  $(\text{Fe}_{0.992}, \text{Zn}_{0.002}\text{Mn}_{0.004})(\text{S}_{1.997}\text{As}_{0.004})$

**B-P:**  $(\text{Fe}_{0.956}, \text{Zn}_{0.001}\text{Cu}_{0.008}\text{Ni}_{0.001}\text{Mn}_{0.028})(\text{S}_{1.959}\text{As}_{0.066}\text{Sb}_{0.003})$

#### VI.6.2. Esfalerite

Depois da Py, a Sp é o sulfureto mais abundante nas intersecções de minério estudadas, em particular nos exemplares fortemente bandados onde (acompanhada de quantidades apreciáveis de Gn) constitui níveis bem individualizados, nos quais a Py é subordinada. Nas restantes fácies, apesar de comum, a Sp constitui uma fase acessória, geralmente ocorrendo em veios ou em halos associados. Atendendo a que ocorre geralmente sob a forma de finos agregados, a distinção entre bordo e núcleo nem sempre é inequívoca, motivo pelo qual não será aprofundada. Obtiveram-se 159 análises quantitativas de Sp com erro inferior a 2% provenientes de 11 exemplares.

Embora a concentração em Zn varie ligeiramente entre Sp representativas de diferentes intersecções de minério, nos exemplares onde foi possível obter análises para ambos os episódios, verifica-se que, tendencialmente, o conteúdo neste metal é ligeiramente superior em grãos de Sp associados a **eII**, comparativamente aos que se formaram em **eI** (**Figura VI.11c**).

A apreciação dos resultados obtidos para a totalidade das análises, permitiu igualmente documentar a presença de quantidades reduzidas de Cu (entre 0.003 e 0.006 *apuf*) em Sp associadas ao episódio **eII** e de Mn (*ca.* 0.001 *apuf*) em Sp representativas de **eI**. Salientam-se ainda conteúdos mensuráveis de Cd



(ca. 0.001 *apuf*) em Sp de ambos os eventos, sendo ligeiramente superiores (ca. 0.002 *apuf*) em contexto vulcânico. A composição mediana ( $n > 10$ ) dos dois grupos pode ser expressa da seguinte forma:

**eI** ( $n=81$ ):  $(\text{Zn}_{0.900}\text{Fe}_{0.085}\text{Cd}_{0.001}\text{Mn}_{0.001})\text{S}_{1.000}$

**eII** ( $n=78$ ):  $(\text{Zn}_{0.922}\text{Fe}_{0.063}\text{Cu}_{0.002}\text{Cd}_{0.001})\text{S}_{1.000}$

### VI.6.3. Galena

A galena ocorre em quantidades apreciáveis acompanhando o essencial da deposição da Sp nos minérios (**eI**) e associando-se à Ccp nos veios carbonatados tardios (**eII**). Relativamente a **eII**, a abundância de Gn varia bastante entre exemplares, embora seja geralmente mais importante que a Sp. Obtiveram-se 115 análises quantitativas de Gn com erro inferior a 2% em 9 exemplares, das quais 61 representam grãos depositados em **eI** e 54 a grãos gerados durante **eII**. À semelhança da Sp, as variações composicionais entre núcleo e bordo não serão investigadas em detalhe.

As principais diferenças entre análises representativas de Gn nos dois diferentes episódios são (i) diminuição significativa dos conteúdos em Zn e Fe e aumento ligeiro dos conteúdos em Pb e Cu nos grãos de Gn formados em **eII** relativamente a **eI**, e (i) substituição parcial do S por Se em **eII**, nomeadamente na lenticula representada pela amostra GS19-1#63 (**Figura VI.11d**). As composições medianas ( $n > 10$ ) de Gn são:

**eI**:  $(\text{Pb}_{0.976}\text{Fe}_{0.014}\text{Zn}_{0.011}\text{Cu}_{0.001})(\text{S}_{0.991}\text{Se}_{0.001})$

**eII**:  $(\text{Pb}_{0.984}\text{Fe}_{0.006}\text{Zn}_{0.002}\text{Cu}_{0.002})(\text{S}_{0.990}\text{Se}_{0.003})$

### VI.6.4. Calcopirite

A calcopirite é abundante em veios de Cb que se desenvolvem posteriormente (**eII**) à deposição da mineralização sulfureta maciça. A presença de Ccp em **eI** é muito rara, formando massas de reduzida dimensão no seio da matriz pirítica ou, mais comumente, ocorrendo sob a forma de inclusões (muitas vezes sub-microscópicas) em fases como Sp, Apy e Py. Obtiveram-se 113 análises quantitativas de Ccp com erro inferior a 2% provenientes de 10 exemplares, das quais 43 referem-se a Ccp-**eI** e 70 a Ccp-**eII**. Composicionalmente, a Ccp depositada nos dois episódios principais distinguem-se de forma marcada com base na proporção Cu/Fe (**Figura VI.11e**), sendo maior em Ccp-**eII** (0.98) comparativamente a Ccp-**eI** (0.95). Em análises representativas de Ccp-**eI**, o défice de Cu é superior, sendo essencialmente compensada por excesso de Fe e pequenos conteúdos em Zn e, de forma menos significativa, Pb. Por outro lado, em Ccp-**eII**, o défice de Cu é compensado não apenas por excesso de Fe mas igualmente por conteúdos significativos em Zn e menos significativos em Pb. Adicionalmente, as composições obtidas sugerem que, de **eI** para **eII** ocorra diminuição do conteúdo em Mn e aumento dos conteúdos em Ag e Se na Ccp. As composições medianas ( $n > 10$ ) obtidas para ambos os grupos de Ccp são:

**eI**:  $(\text{Cu}_{0.966}\text{Fe}_{0.022}\text{Zn}_{0.001})\text{Fe}_{1.000}\text{S}_{2.007}$

**eII**:  $(\text{Cu}_{0.982}\text{Fe}_{0.001}\text{Zn}_{0.001})\text{Fe}_{1.000}\text{S}_{2.009}$

### VI.6.5. Arsenopirite

A arsenopirite é uma fase acessória comum em exemplares de minério, ocorrendo sob a forma de cristais euédricos a subédricos de dimensão variável no seio da matriz pirítica, e sob a forma de grãos subédricos a anédricos de reduzida dimensão constituintes da associação mineral que caracteriza **eII**. Mais raramente, a Apy ocorre nas restantes fácies, em particular metavulcânicas *s.l.* e intrusivas, acompanhando Py ou Sp. Obtiveram-se 32 análises quantitativas de Apy com erro inferior a 2% em 5 lâminas delgadas polidas.

Ambos os grupos de Apy apresentam excesso de Fe e S e défice de As. Em Apy-**eII**, os elementos estequiométricos tendem a aproximar-se dos valores ideais, embora sejam dignos de menção incrementos esporádicos de concentração em Zn, Ni, Mn, Sb, Se e, com menor expressão, Co e Ag. No exemplar de minério semi-macizo com preservação de encaixante metapelítico, os conteúdos em Sb são particularmente elevados, chegando a atingir 0.03 *apuf*. As composições média ( $n < 10$ ) e mediana ( $n \geq 10$ ) dos dois grupos de Apy podem ser expressos da seguinte forma:

**eI** ( $n=23$ ):  $(\text{Fe}_{1.019}\text{Zn}_{0.001})(\text{As}_{0.868}\text{S}_{0.107}\text{Sb}_{0.001})\text{S}$

**eII** ( $n=9$ ):  $(\text{Fe}_{1.017}\text{Zn}_{0.004}\text{Ni}_{0.002}\text{Mn}_{0.001})(\text{As}_{0.896}\text{S}_{0.065}\text{Sb}_{0.012}\text{Se}_{0.001})\text{S}$

#### VI.6.6. Tetraedrite

A Ttr foi identificada em contexto de minério, associando-se ao preenchimento dos veios e filonetes de Cb posteriores à mineralização sulfureta maciça ou aos halos adjacentes a estas mesmas descontinuidades (**eII**). Obtiveram-se 65 análises quantitativas de Ttr com erro inferior a 2% em 5 exemplares.

As variações composicionais observadas para Ttr são significativas e dependem da intersecção de minério amostrada. Desvios no sentido da freibergite, marcados pela substituição parcial do Cu por Ag, caracterizam sobretudo Ttr representativa de minério com preservação de encaixante metapelítico (GS18-5A#50) – **Figura VI.11f**. As concentrações em Ag são, em geral, mensuráveis com excepção de Ttr nas amostras de minério em continuidade com o “cloritito” (GS18-3#56). Os conteúdos em As, marcando desvios no sentido da tenantite, são especialmente elevados em GS18-3#56 (**Figura VI.11g**). As tetraedrites representativas de GS18-3#56 distinguem-se igualmente das restantes por apresentarem conteúdos reduzidos em Fe, contrariamente às restantes que tendem a apresentar conteúdos em Fe superiores ao Zn. Salienta-se ainda a presença de quantidades importantes de Bi associadas às Ttr do exemplar GS19-1#63, representando minério maciço brechificado e cimentado pela associação que caracteriza **eII**. Note-se que apesar de corresponderem à mesma lenticula, GS18-4#142 e GS18-4#144 representam contextos distintos; a primeira amostra corresponde a um veio espesso (preenchido pela associação que tipifica **eII**) que corta o minério maciço e a segunda a uma zona dominada por mineralização de Sp + Gn (**eI**).

As composições médias ( $n < 10$ ) e medianas ( $n \geq 10$ ) para as intersecções amostradas em GS18-4#142 ( $n=3$ ), GS18-4#144 ( $n=8$ ), GS18-3#56 ( $n=3$ ), GS19-1#63 ( $n=44$ ) e GS18-5A#50 ( $n=7$ ) são:

$(\text{Cu}_{6.019}\text{Ag}_{0.236})(\text{Cu}_{3.573}\text{Zn}_{0.906}\text{Fe}_{1.506}\text{Co}_{0.002}\text{Ni}_{0.003}\text{Mn}_{0.001})(\text{Sb}_{3.945}\text{As}_{0.057}\text{S}_{0.007})\text{S}_{13.000}$

$(\text{Cu}_{5.977}\text{Ag}_{0.049})(\text{Cu}_{3.786}\text{Zn}_{1.031}\text{Fe}_{1.176}\text{Cd}_{0.001}\text{Pb}_{0.002}\text{Co}_{0.001}\text{Ni}_{0.004})(\text{Sb}_{3.854}\text{As}_{0.049}\text{S}_{0.074}\text{Se}_{0.001})\text{S}_{13.000}$

$(\text{Cu}_{5.915}\text{Ag}_{0.001})(\text{Cu}_{3.922}\text{Zn}_{1.854}\text{Fe}_{0.215}\text{Cd}_{0.004}\text{Pb}_{0.002}\text{Co}_{0.002}\text{Mn}_{0.001})(\text{Sb}_{2.404}\text{As}_{1.436}\text{S}_{0.228}\text{Se}_{0.012})\text{S}_{13.000}$

$(\text{Cu}_{5.882}\text{Ag}_{0.088}\text{Bi}_{0.009})(\text{Cu}_{3.845}\text{Zn}_{0.756}\text{Fe}_{1.390})(\text{Sb}_{3.188}\text{As}_{0.709}\text{S}_{0.117}\text{Se}_{0.015})\text{S}_{13.000}$

$(\text{Cu}_{5.703}\text{Ag}_{0.362})(\text{Cu}_{3.641}\text{Zn}_{1.086}\text{Fe}_{1.265}\text{Cd}_{0.001}\text{Pb}_{0.001}\text{Ni}_{0.004}\text{Mn}_{0.002})(\text{Sb}_{3.768}\text{S}_{0.154}\text{Se}_{0.001})\text{S}_{13.000}$

#### VI.6.7. Bourmonite

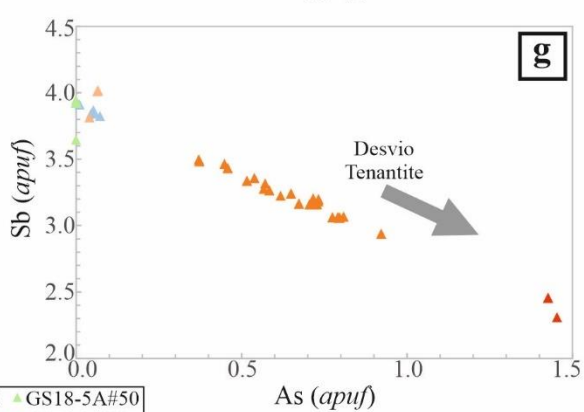
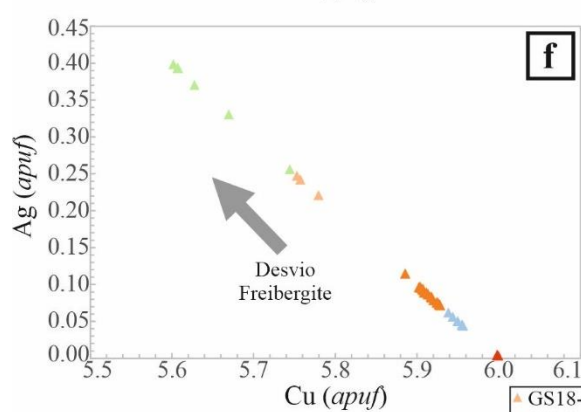
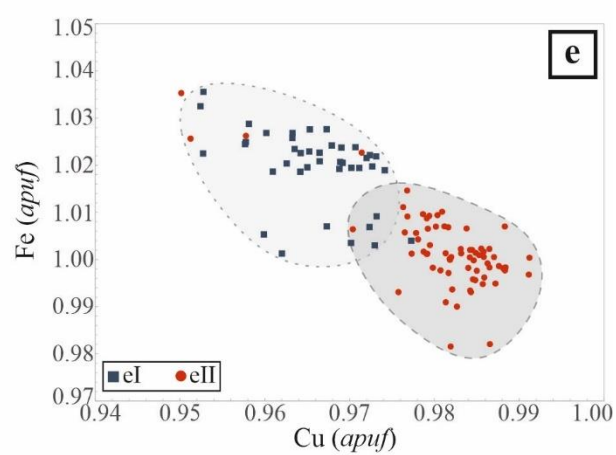
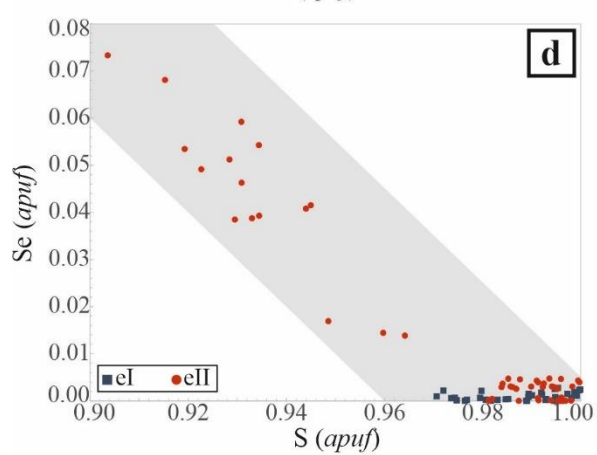
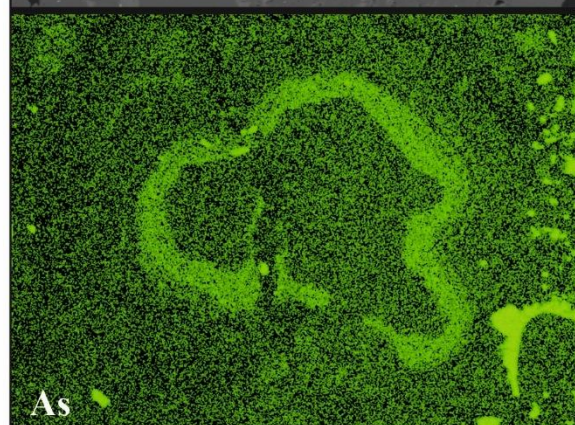
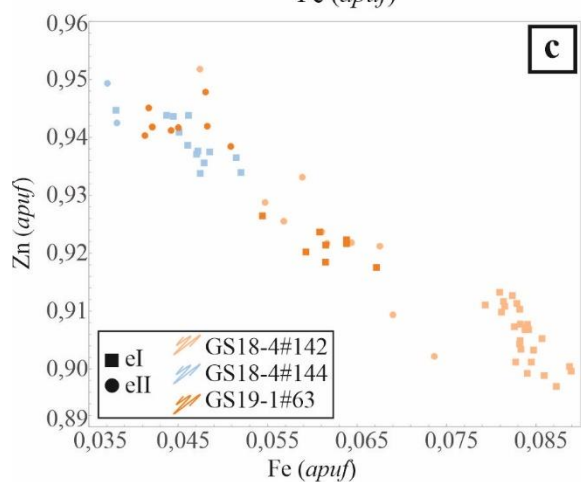
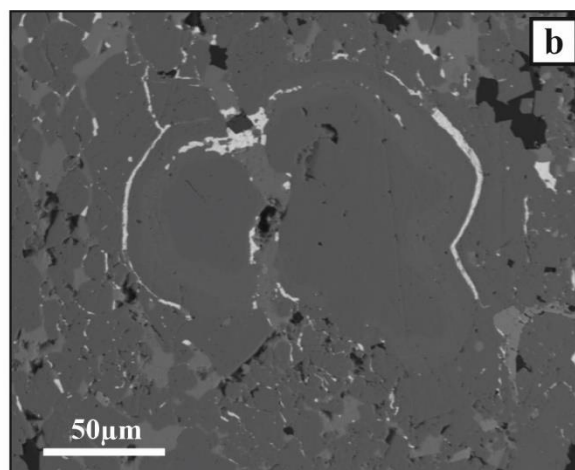
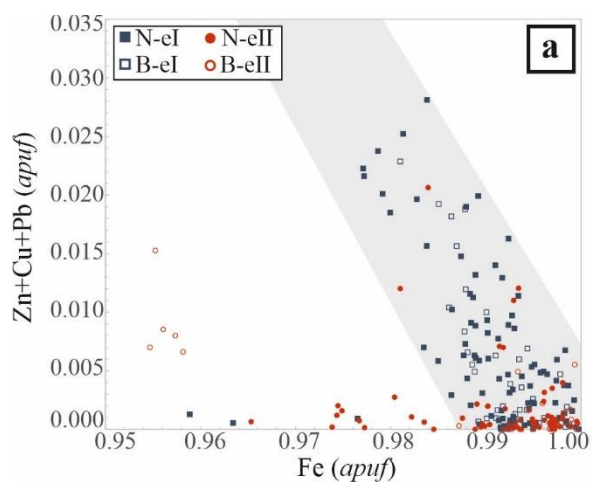
À semelhança da Ttr, a presença de Brn apenas foi identificada em associações que tipificam **eII**. Apesar da Brn estar confinada a pequenos agregados, dificultando o processo de aquisição de análises de qualidade, foi possível obter um total de 39 análises quantitativas com erro inferior a 2% em duas amostras de lenticulas de minério (GS19-1#63 e GS18-4#144) onde os veios mineralizados apresentam dimensões consideráveis.

As análises realizadas denunciam composições significativamente distintas. No caso de GS19-1#63, os grãos de Brn apresentam conteúdos elevados em Zn e Fe e concentrações apreciáveis em Ni; parte do S encontra-se substituído por Se.

As análises de Brn em GS18-4#144 aproximam-se mais da composição ideal, embora registem conteúdos muito ligeiros e irregulares em Mn e Ge. As composições medianas das intersecções amostradas em GS18-4#144 ( $n=29$ ) e GS19-1#63 ( $n=10$ ) são:

$(\text{Pb}_{0.994}\text{Fe}_{0.019}\text{Zn}_{0.002})\text{Cu}_{0.989}\text{Sb}_{0.984}(\text{S}_{3.005}\text{Se}_{0.001})$

$(\text{Pb}_{0.992}\text{Fe}_{0.070}\text{Zn}_{0.036}\text{Ni}_{0.001})\text{Cu}_{1.002}\text{Sb}_{0.922}(\text{S}_{2.943}\text{Se}_{0.032})$





**Figura VI.11** – (a) Projecção Zn+Cu+Pb vs. Fe, registando os desvios à composição ideal marcados pela incorporação de Zn+Cu+Pb na posição ocupada pelo Fe. O campo assinalado pretende ilustrar a tendência geral dos desvios relativos a **eI**. (b) EI de Py colomórfica em contexto de minério com preservação de encaixante metapelítico (acima), registando, no bordo, enriquecimentos em As contemporâneos do evento mineralizante tardio (abaixo). (c) Projecção Zn vs. Fe para Sp de diferentes intersecções de minério, no sentido de demonstrar o incremento em Zn (relativamente ao Fe) associado a **eII**, comparativamente a **eI**. (d) Projecção Se vs. S, ilustrando os enriquecimentos em Se (substituindo o S) nas Gn associadas a **eII**, comparativamente a **eI**. O campo assinalado pretende ilustrar a tendência geral para as análises referentes a **eII**. (e) Projecção Fe vs. Cu para a totalidade das Ccp analisadas, demonstrando os enriquecimentos em Cu associados a **eII**, relativamente a **eI**. As envolventes assinaladas pretendem ilustrar tendências gerais para os grupo **eI** e **eII**. (f) Projecção Ag vs. Cu para a totalidade das tetraedrites analisadas, no sentido de apreciar os desvios no sentido da freibergite, marcados pela substituição parcial do Cu por Ag. (g) Projecção Sb vs. As, no sentido de estudar os desvios no sentido da tenantite, marcados pela substituição do Sb por As.

#### VI.6.8. Cobaltite-Gersdorffite

As fases minerais da série cobaltite-gersdorffite foram identificadas em contexto intrusivo e metapelítico. No primeiro caso, a reduzida dimensão dos grãos não permitiu obter análises quantitativas de qualidade, motivo pelo qual não serão abordadas. No segundo caso, embora pouco comuns, estas fases ocorrem associadas a Ccp e Ttr. Apesar de não terem sido identificadas em amostras de minério, associadas aos veios de Cb mineralizados, as relações texturais observadas em contexto metapelítico sugerem que a sua deposição seja contemporânea de Ccp-**eII**. Pese embora pouco abundantes, foi possível obter um total de 7 análises quantitativas com erro inferior a 2%.

Os resultados obtidos reflectem composições intermédias entre os termos cobaltite e gersdorffite, sistematicamente incorporando conteúdos em Fe e, com menor expressão, em Pb, Zn e Sb e pontualmente em Cu, Se, Ag e Cd. A variabilidade composicional destas fases vem igual a:

$(\text{Co}_{0.506-0.082}\text{Ni}_{0.297-0.748}\text{Fe}_{0.221-0.191}\text{Pb}_{\leq 0.002}\text{Zn}_{\leq 0.001})(\text{As}_{0.923-0.947}\text{S}_{0.045-0.017}\text{Sb}_{0.003-0.013}\text{Se}_{\leq 0.001})\text{S}_{1,000}$

#### VI.6.9. Outras fases

A presença pontual de estanita, bismutinite e fases de Pb-Bi-Cu foi igualmente reconhecida em contexto metapelítico, à semelhança das fases da série cobaltite-gersdorffite. Nos dois primeiros casos, devido à dimensão reduzida dos grãos, apenas foi possível obter uma análise com erro inferior a 2% de cada tipo. No que respeita às fases de Pb-Bi-Cu, presumivelmente devido à presença de micro inclusões e/ou exsoluções, a atribuição de uma estequiometria conhecida não foi bem-sucedida. Salienta-se, contudo, que as fases de Pb-Bi-Cu registam de forma sistemática conteúdos não negligenciáveis em Fe, Sb, Se e Ag, e menos importantes em Ni, Mn e Au.

As análises obtidas para pirrotite identificada em fácies quimiogénicas não produziram bons resultados, não tendo sido possível obter representatividade estatística (apenas 3 com erro inferior a 2%), motivo pelo qual esta fase mineral não será aqui aprofundada.

## VII. Litogeoquímica de rocha total

### VII.1. Rochas encaixantes

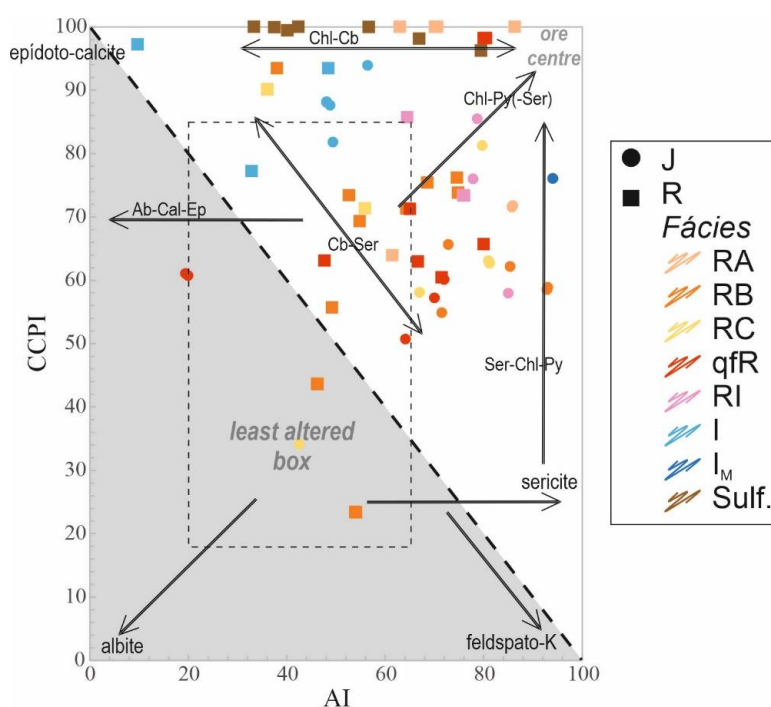
#### VII.1.1. Comparação de dados de geoquímica multi-elementar com FRX-P e FRX

Com o objectivo de validar a classificação “química” das rochas que serviu de base à elaboração de secções geológicas interpretativas anteriormente apresentadas e ilações daí decorrentes, compararam-se os resultados obtidos com FRX-P e FRX. Este procedimento pretende igualmente explorar a possível utilização do primeiro como metodologia de rotina em futuras campanhas de prospecção, em especial recorrendo a testemunhos de sondagem. Para o efeito, a totalidade dos dados obtidos através de ambos os métodos foram projectados em gráficos *boxplot*, constando das **Figura XI.5** a **Figura XI.11**, em anexo. A estatística descrita que acompanha esta comparação pode ser consultada nas **Tabela XI.73** a **Tabela XI.79**, em anexo. De forma geral, os valores são correlacionáveis. Contudo, atendendo ao tipo de amostragem realizado com FRX-P, é espectável que os valores obtidos com este método aportem maior variabilidade geoquímica, motivo pelo qual a amplitude de variação é, regra geral, superior para este método.

#### VII.1.2. Índices de alteração

Como mencionado anteriormente, as unidades encaixantes das massas sulfuretadas de Gavião, em particular metavulcânicas *s.l.* e metassedimentares, registam importantes efeitos de alteração. Estas modificações são, em muitos casos, resultado da sobreposição de eventos alteração de natureza distinta, nomeadamente: (i) metassomatismo oceânico, afectando a totalidade da sucessão litostratigráfica, (ii) alteração hidrotermal, tendencialmente mais focalizada, associando-se ao desenvolvimento da mineralização sulfuretada e, mais tarde, (iii) metamorfismo regional.

O digrama da **Figura VII.1**, proposto por Large *et al.* (2001), pretende distinguir diferentes percursos composicionais, de alguma forma reflectindo a maior ou menor importância dos vários processos de alteração a que as rochas foram sujeitas. Para efeitos de comparação, projectam-se igualmente no diagrama da **Figura VII.1** os dados relativos a amostras presumivelmente menos alteradas (**J**), obtidos no âmbito do projecto a decorrer em paralelo. É de salientar que apesar de proposto para unidades

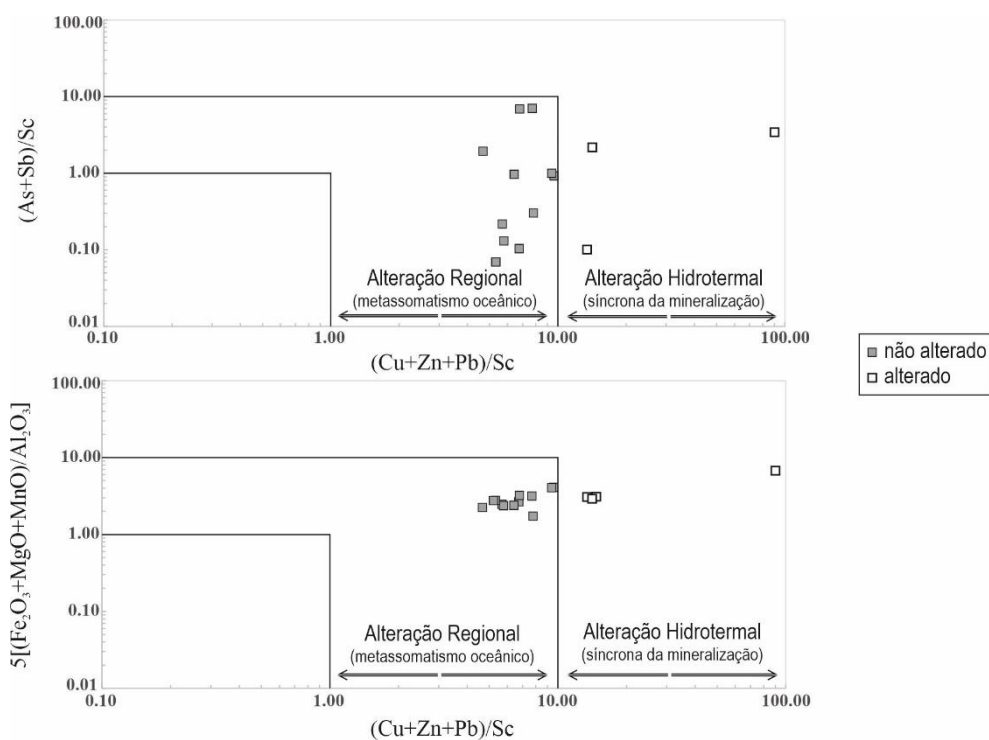


**Figura VII.1** – Projecção dos índices CCPI (Chl-Cb-Py index) vs. AI (Ishikawa alteration index) para a totalidade de fácies encaixantes. Adpatado de Large *et al.* (2001). A zona assinalada a cinzento representa o campo definido pelos autores como representativo de “diagenetic trends”, por oposição a “hydrothermal trends”.

vulcânicas *s.l.*, são ainda projectadas no diagrama as análises obtidas para unidades intrusivas (**I**) e diferentes tipos de minério intersectados pelas sondagens estudadas (**Sulf.**).

Com excepção de raras amostras, a generalidade dos pontos projecta-se no campo representativo de “hydrothermal trends” e revela assinalável convergência com as observações petrográficas registadas. Os exemplares de fácies metavulcânicas félsicas denunciam desvios importantes nos sentidos Chl-Py(-Ser) e Ser-Chl-Py, contrariamente às fácies intrusivas que tendencialmente se espriam por campos composicionais condicionados pelos vectores Chl-Cb e Cb-Ser. As amostras de “cloritito” (representadas por **RA**) e de minério apresentam os valores mais altos de CCPI obtidos. Relativamente aos exemplares de “cloritito”, regista-se a importância dos vectores Chl-Py(-Ser) e Chl-Cb. No que respeita os minérios, as amostras tendem a alinhar-se segundo o vector Chl-Cb.

Nos gráficos da **Figura VII.2** projectam-se os dados obtidos para amostras de metapelitos, diferenciando os exemplares que registam evidências de alteração mineralizante dos restantes. De facto, as amostras alteradas projectam-se no campo definido por Luz *et al.* (2019) como representativo de “alteração hidrotermal”, por oposição às restantes amostras que se dispersam no campo composicionalmente atribuído à “alteração regional”.



**Figura VII.2** – Projectões (As+Sb)/Sc vs. (Cu+Zn+Pb)/Sc e  $5[(Fe_2O_3+MgO+MnO)/Al_2O_3]$  vs. (Cu+Zn+Pb)/Sc, com respectivos campos “Alteração Regional” e “Alteração Hidrotermal”. Adaptado de Luz *et al.* (2019).

### VII.1.3. Balanços de massa

O cálculo de balanços de massa permite aferir os ganhos e perdas registadas por elementos com comportamento móvel que compõem as rochas hospedeiras no decurso das transformações decorrentes de alteração hidrotermal imputáveis ao desenvolvimento de sistemas mineralizantes. Os cálculos efectuados seguem a metodologia indicada em Barrett *et al.* (2008). Conceptualmente, a contabilização é feita recorrendo às diferenças de concentração elementar ( $\Delta j$ ) entre um protólito (*percursor*,  $C_{j,p}$ ) e o seu equivalente alterado ( $C_{j,a/m}$ ), de forma que:  $\Delta j = C_{(j,a/m)R} - C_{j,p}$ , e onde  $C_{(j,a/m)R} = f \times C_{j,a/m}$ .  $C_{(j,a/m)R}$  corresponde à concentração elementar recalculada com recurso a um factor ( $f$ ) que traduz a razão entre as concentrações de um “elemento imóvel” medidas no precursor e no seu equivalente alterado:  $f = C_{imóvel,p} / C_{imóvel,a/m}$ .



#### VII.1.3.1. Teste à imobilidade dos elementos

A mobilidade ou, por oposição, imobilidade geoquímica dos elementos relaciona-se com a natureza e condições específicas do sistema, sendo igualmente dependente das características particulares dos elementos. Tipicamente, os HFSE (*High Field Strength Elements*) são menos susceptíveis a mobilidade durante muitos dos processos geológicos comuns, dado o seu elevado potencial iónico, motivo pelo qual são genericamente denominados de “elementos com comportamento geoquímico tendencialmente imóvel” ou apenas “elementos imóveis”. No sentido de averiguar a sua imobilidade, foram testados vários elementos (*e.g.* Zr, TiO<sub>2</sub>, Y, Sc). Nos gráficos binários na **Figura XI.4**, em anexo, verifica-se que Zr, Sc, Y, Hf apresentam comportamento tendencialmente imóvel, enquanto TiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> registam alguma dispersão, denunciando sinais de possível heterogeneidade primária (ainda que reduzida) e/ou mobilidade em alguns contextos litológicos ou de alteração *s.l.*. Desta forma, optou-se pelo Zr como “elemento imóvel” de referência.

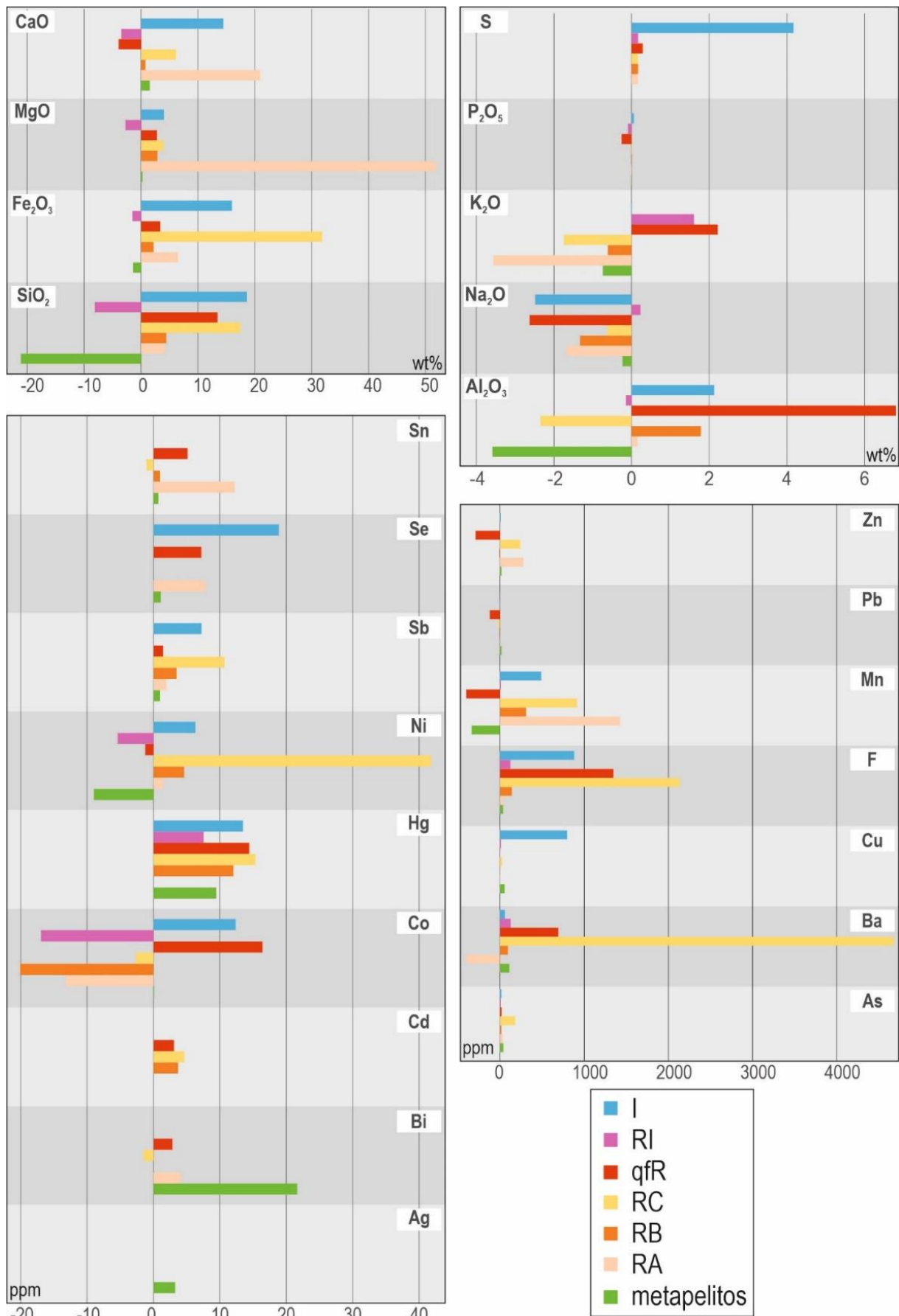
#### VII.1.3.2. Percursos e cálculo de balanços de massa

Os cálculos dos ganhos e perdas foram realizados individualmente para as diferentes fácies identificadas. Para efeitos de escolha de percursos, recorreu-se ao digrama da **Figura VII.1** no sentido de identificar exemplares para as diferentes unidades “químicas” que melhor representem os respectivos protólitos, considerando ainda as características petrográficas observadas. Sempre que possível, a selecção de amostras de fácies metavulcânicas *s.l.* recaiu sobre o campo “*least altered box*”. Nos casos particulares das fácies **RA** e **RI** tal não foi possível, tendo sido necessário recorrer a exemplares que se aproximassem dessa condição tanto quanto possível. De forma a abranger a totalidade da variabilidade composicional que caracteriza as diferentes fácies, tomou-se como referência para os respectivos equivalentes alterados, a mediana das restantes amostras de cada grupo que no diagrama da **Figura VII.1** se situam fora do campo “*least altered box*”. No caso particular dos metapelitos, a selecção de um precursor foi realizada com base nos gráficos da **Figura VII.2**, tomando-se como referência para equivalentes alterados, a mediana das amostras projectadas sobre o campo “alteração hidrotermal”. O factor *f* calculado para as fácies metapelíticas, **RA**, **RB**, **RC**, **qfR**, **RI** e **I** corresponde a 0.78, 1.85, 1.11, 1.63, 1.24, 0.87 e 1.59, respectivamente.

Nos que respeita os elementos maiores, registam-se ganhos importantes em SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e S, e perdas em Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O (**Figura VII.3**), para a generalidade das fácies com excepção das metapelíticas e **RI**. Estas últimas denotam perdas significativas em SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO (apenas em **RI**) e CaO (apenas em metapelitos) e ainda ganhos em K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O no caso de **RI**. É de notar igualmente perdas em CaO e ganhos em K<sub>2</sub>O que caracterizam a fácies **qfR**, assim como a perda muito significativa em Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que tipifica a fácies **RC**. Relativamente aos elementos menores e traço, a tendência geral traduz-se em ganhos significativos na generalidade das fácies (**Figura VII.3**), com excepção do Co, que apenas regista ganhos na fácies **I** e **qfR**. Não obstante, o Ni e o Mn registam decréscimos significativos nas fácies metapelíticas, **qfR** e **RI** (esta última apenas em Ni). É de salientar também perdas ligeiras em Sn, Bi e menos significativas em Pb que caracterizam a fácies **RC**, assim como em Zn associadas a **qfR**. A fácies **RA** denota ainda perda significativa em Ba. A síntese dos balanços de massa globais consta da **Tabela VII.3**.

**Tabela VII.1** – Balanços de massa globais para a totalidade de fácies encaixantes, envolvidos na transformação dos percursos seleccionados para as várias fácies nos respectivos equivalentes alterados/mineralizados, assumindo Zr como imóvel.

Balanços de massa (em wt%)							
	metapelitos	RA	RB	RC	qfR	RI	I
Σ Ganhos	1,62	83,76	12,19	60,24	28,63	1,64	55,63
Σ Perdas	26,93	5,33	1,97	4,74	4,74	15,92	2,49
Balanço Líquido	-25,31	78,43	10,22	55,50	23,88	-14,28	53,14

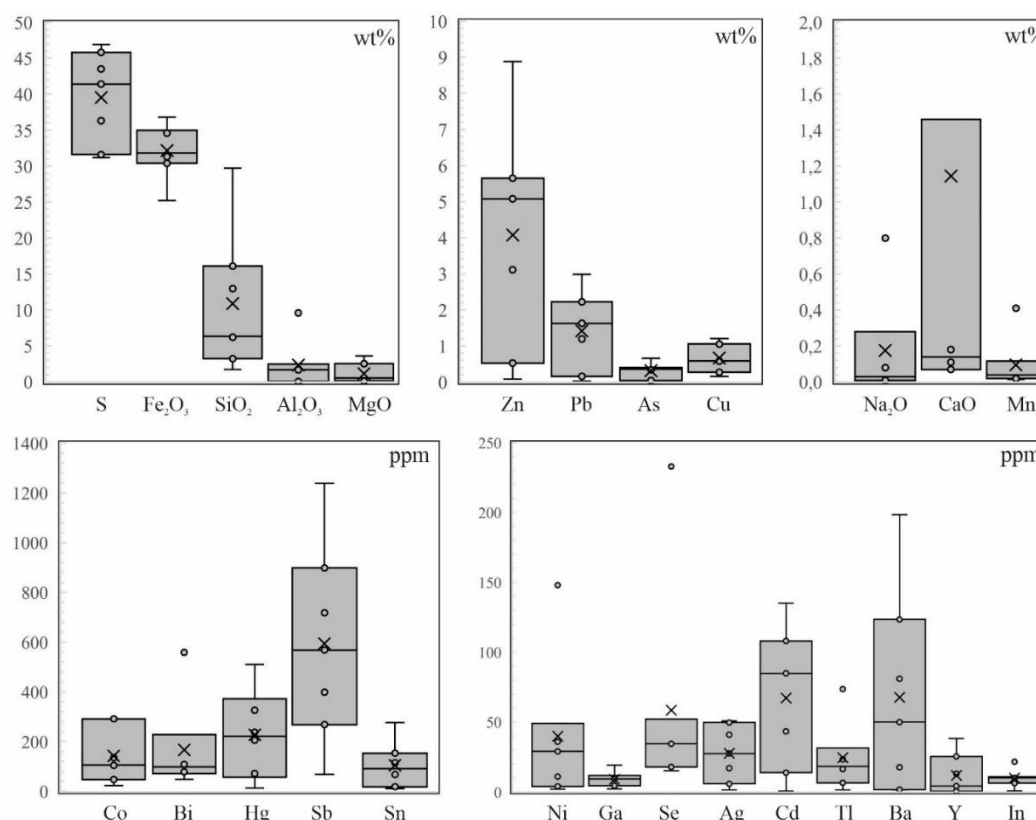


**Figura VII.3** – Balanços de massa calculados para as diferentes fácies identificadas, tomando Zr como imóvel.

## VII.2. Minérios

### VII.2.1. Caracterização de elementos maiores, menores e traço

Na **Figura VII.4** projectam-se os principais elementos maiores, menores e traço para a totalidade de amostras de minério. Estes exemplares são caracterizados por elevado conteúdo em S e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e mais baixo em  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{MgO}$ . O Zn, Pb e Cu constituem-se com elementos maiores, atingindo pontualmente concentrações da ordem de 8.9, 3.0 e 1.2%, respectivamente. O As, enquanto elemento menor, apresenta concentração significativa na generalidade das amostras, atingindo o valor máximo de 0.66% em minério hospedado em metapelito (GS18-5A#51). No que respeita os elementos traço, registam-se valores de concentração relevantes em Hg, Co, Bi, Sn e principalmente Sb, cujos valores médios se situam tendencialmente acima de 100 ppm, e ainda em Ba, Cd, Ag, Se, Ni, Tl, Y, In e Ga que, com excepção do Ba e Cd, tendem a apresentar valores médios abaixo de 50 ppm. O Mn é geralmente um elemento-traço nos minérios analisados, embora pontualmente atinja valores em torno de 0.4%.



**Figura VII.4** – Projectção de elementos maiores, menores e traço em gráficos *boxplot* para a totalidade de amostras de minério.

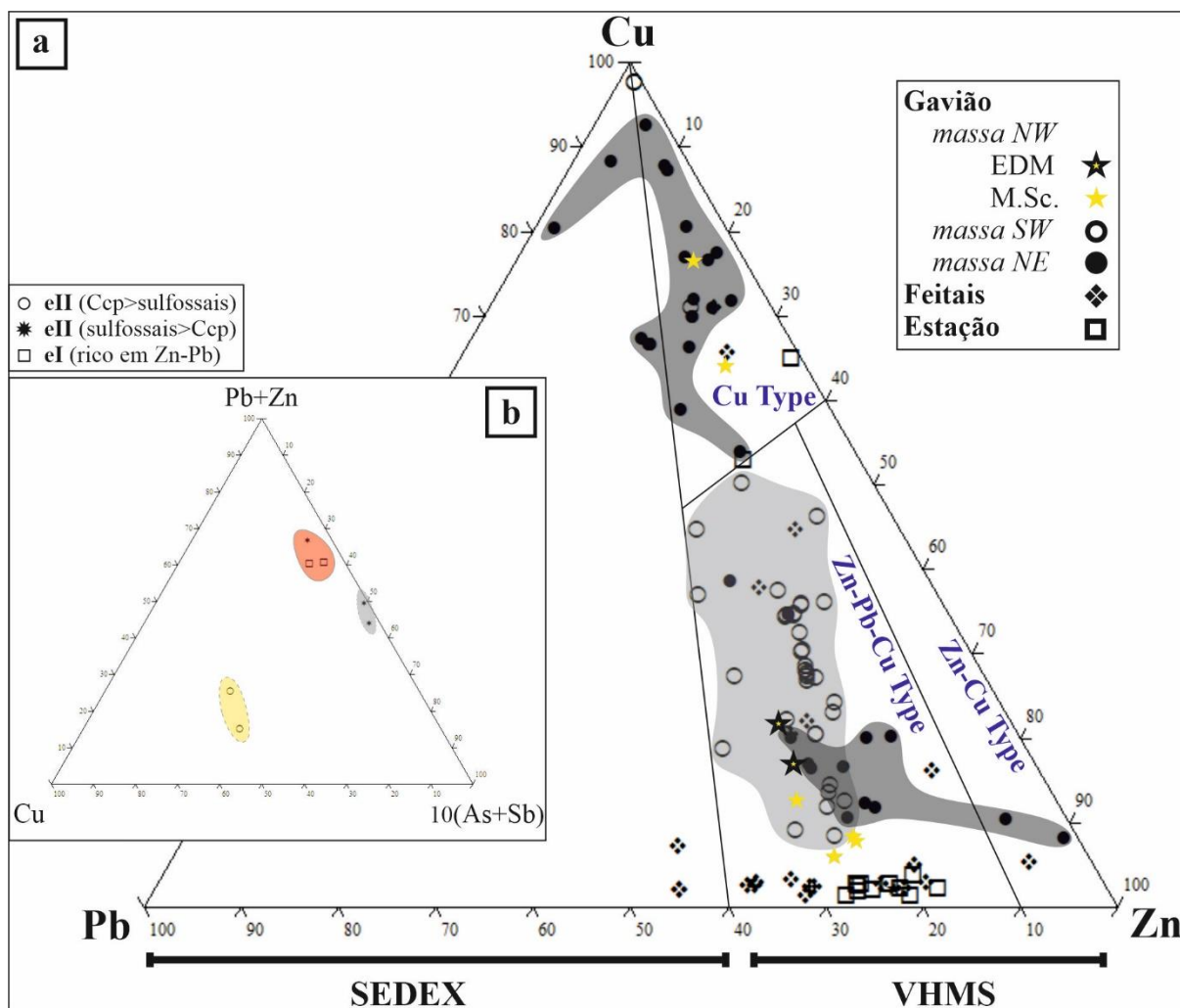
O  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  encontram-se frequentemente abaixo do limite de detecção, motivo pelo qual não se encontram projectados na **Figura VII.4**. Quando acima do limite de detecção apresentam valores inferiores a 0.2, 0.1 e 0.05%, respectivamente.

No diagrama da **Figura VII.5a**, projectam-se os valores de Zn, Pb e Cu obtidos para as várias amostras analisadas. Para efeitos de comparação, projectam-se também valores de concentração elementar compilados de estudos publicados e relatórios técnicos disponíveis para as restantes massas de Gavião (SW e NE) e depósitos de Feitais e Estação.

### VII.2.2. Tipos de minério

Na **Figura VII.5a** verifica-se que, com excepção de alguns pontos referentes a Feitais e à massa NE de Gavião, todos os restantes se distribuem no campo composicional representativo de depósitos VHMS. As amostras estudadas separam-se em dois conjuntos: o primeiro projecta-se no campo “*Zn-Pb-Cu Type*”, representando a mineralização que tipifica maioritariamente o episódio eI; o segundo conjunto dispersa-se pelo campo “*Cu Type*”, documentando a distribuição de amostras para as quais o episódio eII se encontra melhor expresso (**Figura VII.5a**).





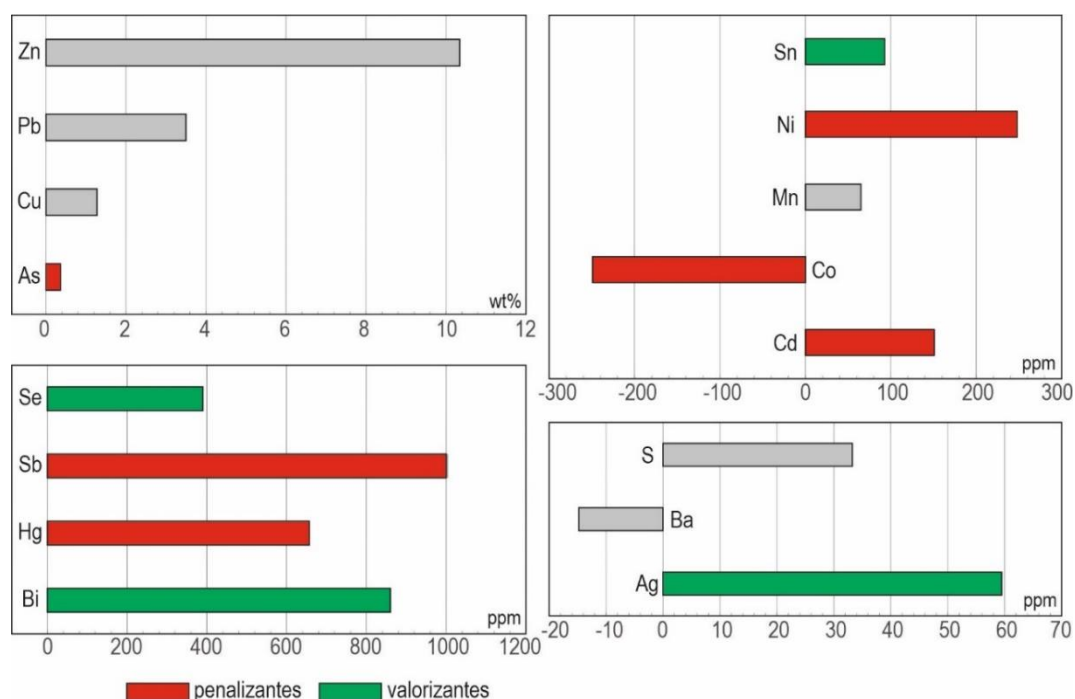
**Figura VII.5** – (a) Projectção dos valores de Zn, Pb e Cu para as diferentes amostras analisadas, assim como valores bibliográficos e outros presentes em relatórios cedidos pelas empresas para as massas NE e SW do Gavião, Feitais e Estação (Schermerhorn, 1975; Barriga, 1983; Barrett *et al.*, 2008; Gonçalves, 2014; Damião *et al.*, não publicado). Adaptado de Large (1992). (b) Projectção dos valores de Cu, Pb+Zn e 10(As+Sb) para as amostras analisadas.

Na **Figura VII.5b**, as mesmas amostras são projectadas no diagrama triangular Cu – Zn+Pb – 10(As+As) e separadas em três grupos distintos de acordo com as características petrográficas observadas nas respectivas lâminas delgadas polidas, nomeadamente: (i) importância da associação que tipifica **eII** no contexto geral da mineralização; e (ii) proporção relativa entre sulfuretos (em particular Ccp) e sulfossais que caracterizam **eII**. De forma geral, as amostras onde **eII** é pouco expressivo tendem a projectar-se mais próximo do extremo “Zn+Pb”, por oposição às restantes que tendem a desviar-se deste termo composicional. Estas últimas amostras separam-se ainda com base na mineralogia dominante associada a **eII**. Ou seja, quando Ccp domina sobre os sulfossais, as amostras desviam-se de forma significativa no sentido do extremo “Cu”, contrariamente às restantes amostras, onde aqueles sulfossais prevalecem sobre Ccp. A excepção a este padrão é dada pelo exemplar GS19-1#63, representativo de minério maciço brechificado e cimentado pela associação que tipifica **eII**. Contudo, a análise multi-elementar obtida para este exemplar representa uma amostra compósita (GS19-1#62/63) abrangendo uma zona caracterizada pelo minério brechóide referido e outra por mineralização maciça bandada rica em Sp ± Gn, sugerindo que os efeitos associados a **eII** tenham sido “diluídos” e, desta forma, sub-valorizados na representação gráfica.

### VII.2.3. Balanços de massa

Com o objectivo de aferir a influência do episódio mineralizante tardio (**eII**) nos ganhos e perdas em vários elementos maiores, menores e traço que caracterizam as massas sulfuretadas resultantes de **eI**, em particular aqueles que resultam na valorização ou penalização dos minérios aquando do seu processamento, realizam-se estimativas de balanços de massa. O procedimento efectuado, apesar de semelhante ao descrito para as fácies hospedeiras da mineralização, representa uma aproximação grosseira ao problema, uma vez que todos os minérios registam efeitos heterogéneos de modificações tardias, para além de não haver garantias de uniformidade composicional prévia ao desenvolvimento de **eII**. Assim, as ilações que decorrem deste exercício numérico devem ser encaradas com bastante cuidado, dificilmente documentando mais do que tendências gerais possíveis. Como “elemento imóvel” de referência utilizou-se o Yb (**Figura XI.12**, em anexo), em grande parte devido a inexistência de valores acima do limite de detecção para a maioria dos elementos com comportamento geoquímico tipicamente imóvel nestes sistemas. Neste contexto, afigura-se importante salientar que, apesar da ligeira mobilidade que caracteriza os elementos pertencentes ao sub-grupo das terras raras leves (e outros com comportamento geoquímico afim) – como demonstrado durante a caracterização petrográfica, dada a presença de Syn que acompanha a deposição da associação que tipifica **eII** – assumiu-se que o Yb deverá apresentar mobilidade geoquímica reduzida para efeitos do procedimento de normalização.

A escolha de exemplares sobre cujas análises recaíram os cálculos, considerou os que melhor representam os episódios **eI** e **eII**. Assim, GS18-4#142, caracterizada por mineralização sulfuretada maciça bandada com importante conteúdo em Sp  $\pm$  Gn, pretende representar **eI**. Por outro lado, a amostra compósita GS19-1#62/63, apresentando mineralização sulfuretada maciça bandada com importante deposição de Sp  $\pm$  Gn posteriormente brechificada e selada pela associação que tipifica o episódio mineralizante tardio, pretende representar **eII** após **eI**.



**Figura VII.6** – Balanços de massa envolvidos na sobreposição dos episódios **eI** e **eII**, calculados com base nos resultados obtidos para as amostras GS18-4#142 e GS-19-1#62/63.

Observando a **Figura VII.6**, registam-se ganhos significativos para a generalidade dos elementos, em especial metais base (como sejam Zn, Pb e Cu), com excepção do Co e Ba. Destaca-se com particular interesse os ganhos em elementos potencialmente valorizantes do minério, como Ag, Bi, Se e Sn. Neste sentido, importa igualmente salientar os enriquecimentos marcados em elementos potencialmente penalizantes, em particular Sb e Hg, e com menor importância Ni e Cd.

## VIII. Discussão

O presente capítulo tem como objectivo fundamental integrar e interpretar a totalidade da informação anteriormente apresentada, no sentido de contribuir para um melhor entendimento do depósito de Gavião, particularmente no que respeita à caracterização das massas de sulfuretos maciços intersectadas por sondagem no sector W e da alteração mineralizante preservada nas litologias que as hospedam.

### VIII.1. Litologias encaixantes

As sondagens estudadas intersectam 60-70 m de depósitos cenozóicos, abaixo dos quais se encontram as unidades metavulcânicas *s.l.* e metassedimentares *s.l.* do CVS. Estas unidades apresentam espessura muito variável, em parte devido a dobramentos de diferentes ordens e a estruturas frágeis (laminação e empilhamento tectónico), sendo localmente cortadas por unidades intrusivas (**Figura IV.7** a **Figura IV.10**). A sucessão intersectada sugere que as fácies metavulcânicas félsicas, em particular as de natureza clástica, deverão dominar sobre as restantes litologias identificadas. A ampla variedade de fácies reconhecida macroscopicamente (**Tabela III.1**), em conjunto com a intensa deformação que caracteriza o sector estudado, concorre para um padrão estrutural complexo, dificultando a reconstituição geológica com base nas linhas de observação propiciadas pelas sondagens. Desta forma, a identificação de uma sequência quimio-estratigráfica permitiu eliminar alguns graus de liberdade na reconstrução de secções geológicas interpretativas (SGI), em particular quando estas se apresentam maioritariamente constituídas por fácies metavulcânicas *s.l.*

À semelhança do trabalho desenvolvido por Barrett *et al.* (2008), o tratamento dos dados obtidos com FRX-P para as quatro sondagens estudadas permitiu identificar no sector W de Gavião 6 tipos de unidades geoquímicas composicionalmente distintas: **RA**, **RB**, **RC**, **qfR**, **RI** e **I**, sendo as 4 primeiras descritas por aqueles autores. Neste contexto, importa sublinhar que a correspondência indicada por Barrett *et al.* (2008) entre **qfR** e pórfiro, não é verdadeira para o sector W do Gavião, onde tal unidade corresponde a fácies de natureza vulcânica e vulcanoclástica. Embora igualmente presentes em Feitais, as fácies **RI** e **I** não foram estudadas por Barrett *et al.* (2008), tanto quanto é do nosso conhecimento. Os dados de litogeoquímica obtidos com FRX para amostras seleccionadas permitiram validar a abordagem realizada com o equipamento portátil e, conseqüentemente, a classificação geoquímica realizada nesta base, não obstante a amplitude de variação que caracteriza os dados de FRX-P ser regra geral superior, resultado da maior variabilidade geoquímica amostrada com FRX-P.

Os dados obtidos demonstram existir correlação sistemática directa entre a classificação macroscópica prévia das unidades **CS<sub>fr</sub>** e **I** e respectivas assinaturas geoquímicas (fácies **RI** e **I**, respectivamente). Tal não acontece com as unidades metavulcânicas *s.l.* félsicas; ou seja, embora a metodologia usada permita distinguir composicionalmente diferentes unidades rio-dacíticas, a distinção não se expressa ao nível das características macroscópicas. A reconstrução geológica do sector W de Gavião, assumindo a sequência descrita por Barrett *et al.* (2008) e considerando a informação recolhida durante a reclassificação de sondagens, nomeadamente no que respeita aos contactos, permitiu determinar a posição estratigráfica da fácies **RI** relativamente às restantes, culminando na proposta de uma sequência que, da base para o topo, é constituída por: **qfR**, **RA**, **RB**, **RI** e **RC**. As SGI sugerem ainda a necessidade de considerar a existência de **qfR II**, dada a presença de unidades quimicamente equiparáveis a **qfR** posicionadas estratigraficamente acima da sucessão anteriormente descrita. A premissa de que esta unidade corresponda à anteriormente mencionada **qfR**, teria como consequência deslocações impostas por importantes acidentes tectónicos, responsáveis pela sua posição actual nas sondagens relativamente à restante sequência metavulcânica *s.l.*. Contudo, a reclassificação de sondagens não permitiu colocar em evidência flechas de movimento significativas nos troços correspondentes às estruturas frágeis imediatamente a muro desta unidade. Note-se, contudo, que tais evidências poderão ter sido obliteradas pela instalação de corpos intrusivos (**I**).



Com excepção de **RA**, todas as unidades félsicas definidas incluem desde termos clásticos a coerentes. Petrograficamente, as várias unidades “químicas” félsicas não apresentam características distintivas entre elas. As fácies clásticas apresentam textura granular seriada bimodal, caracterizada pela presença mineraloclastos de Qz e Ab dispersos numa matriz (geralmente equigranular) fina a muito fina igualmente quartzo-feldspática. Por outro lado, as fácies coerentes apresentam textura microfanerítica (a praticamente afanítica) porfírica, caracterizada por fenocristais euédricos a subédricos de Ab e, mais raramente, de Qz dispersos numa matriz da mesma natureza mineralógica.

A topo das unidades metavulcânicas *s.l.* ocorrem fácies metapelíticas, pontualmente intercaladas com níveis metavulcanoclásticos finos e, mais raramente, quimiogénicos, correspondentes à Fm. do Gavião. As fácies metassiliciclásticas apresentam colorações diversas e variações na componente detrítica dominante (argilítica ou psamítica). Petrograficamente, correspondem a rochas com granularidade extremamente reduzida, formadas por proporções variáveis de filossilicatos e Qz micro a cripto-cristalino, e as fácies quimiogénicas a agregados siliciosos micro a cripto-cristalinos, por vezes preservando características primárias (*e.g.* esferólitos). No caso particular do jaspe, a sua coloração é dada pela impregnação de grãos muito finos de Hem no seio da matriz de Qz.

Os abundantes corpos intrusivos de natureza intermédia a máfica, ocorrem geralmente sob a forma de intersecções espessas e representam rochas com textura microfanerítica, pontualmente porfírica, marcada por matriz inequigranular formada essencialmente por Ab, sobre a qual se dispõem raros fenocristais da mesma natureza, para além dos escassos grãos de Px. No que respeita à unidade **RI**, contrariamente ao proposto durante a reclassificação de sondagens, não foi identificada a presença de *fiamme* durante a sua caracterização petrográfica. As observações registadas sugerem tratar-se de litoclastos monomíticos, representando fragmentos estirados de rochas com textura microfanerítica inequigranular em tudo semelhantes às unidades **I** anteriormente descritas, cimentados pela associação Qz + Ser + Cb + Ep *s.l.*

#### VIII.2. Alteração hidrotermal mineralizante

Todas as unidades encaixantes estudadas registam importantes efeitos de alteração hidrotermal. Contudo, estas modificações deverão representar, em muitos casos, sobreposições de eventos distintos, nomeadamente: **(i)** metassomatismo oceânico, afectando toda a sequência litostratigráfica (alteração regional); **(ii)** alteração mineralizante, associada ao desenvolvimento das mineralizações sulfuretadas; **(iii)** metamorfismo regional; e **(iv)** modificações pós-pico de deformação, desencadeadas pela actividade hidrotermal tectonicamente controlada (zonas de falha *s.l.*), geralmente de menor intensidade e localizadas. Não obstante a heterogeneidade textural que caracteriza as diferentes fácies, a variabilidade do ponto de vista das associações minerais de alteração é bastante reduzida.

Em muitos dos exemplares estudados, os efeitos da alteração regional terão sido obliterados pela multiplicidade e penetratividade dos impulsos hidrotermais. Contudo, algumas amostras metavulcânicas, preservam veios ante-deformação de Qz + Ab sericitizada, sem mineralização associada, cujo desenvolvimento pode ser atribuído a fenómenos de metassomatismo oceânico.

No que respeita à alteração hidrotermal mineralizante, esta caracteriza-se pela deposição, sob a forma de impulsos múltiplos, de abundante Chl e Qz, aos quais se associam quantidades acessórias de Ser, Cb e sulfuretos. Alguns exemplares estudados sugerem ainda a formação de Rtl acompanhando esta associação. Relativamente às fases sulfuretadas, a Py predomina, seguida de proporções variáveis de Sp e Gn e quantidades menores de Ccp e Apy.

A alteração é particularmente evidente quando associada a fácies clásticas, de natureza vulcânica ou sedimentar. As observações macro/microscópicas sugerem que a intensidade da alteração depende fortemente da permeabilidade do meio, de alguma forma reflectindo a importância da capacidade de escoamento dos fluidos na progressão das frentes de reacção química. As fácies clásticas tendem a exibir alteração penetrativa (tipo *background*), uma vez que o escoamento dos fluidos deverá ser

preferencialmente condicionado pela permeabilidade primária. Nestas rochas, a cloritização  $\pm$  sericitização resultam na substituição geralmente intensa das fases minerais constituintes da matriz e preenchimento de espaços intersticiais; em alguns casos, a deposição de Chl  $\pm$  Ser é menos expressiva, desenvolvendo apenas agregados finos que selam os espaços intersticiais. Contrariamente, as fácies coerentes manifestam a alteração tendencialmente sob a forma de preenchimentos de fracturas (permeabilidade secundária) que se cortam mutuamente, ou sob a forma de halos mais ou menos expressivos que se desenvolvem em torno daquelas descontinuidades. Por vezes, as fácies coerentes apresentam alteração penetrativa; nestes casos, porém, o escoamento dos fluidos é facilitado pela elevada tortuosidade e conectividade de redes de (micro)fracturas e/ou vesículas, permitindo atingir razões fluido/rocha superiores. Nestas fácies, a presença de filossilicatos matriciais denunciando fenómenos de cloritização  $\pm$  sericitização encontra-se geralmente limitada a agregados muito finos ocupando espaços intergranulares.

As diferenças ao nível da capacidade de escoamento dos fluidos podem ainda justificar o facto de, nas rochas clásticas, os mineraloclastos de Fsp (ou possíveis relíquias, no caso das fácies metapelíticas) se encontrarem frequentemente hidrolisados, registando também efeitos de carbonatação, contrariamente às fácies coerentes, onde tais aspectos não são tão expressivos. No caso particular das fácies metavulcânicas *s.l.*, a associação mineral que substitui os feldspatos inclui ainda Ep *s.l.*. A análise sistemática de mineraloclastos/fenocristais de Fsp regista ligeira variabilidade composicional entre núcleo e bordo dos cristais, marcada por incremento em molécula Ab e decréscimo das componentes An e Or. Ainda que pouco significativa, esta diferença composicional sugere a progressão de processos de albitização penetrativos, podendo ter resultado na obliteração da composição primária destas fases. Nos casos mais extremos, a alteração mineralizante resulta na obliteração quase completa de eventuais características primárias do protólito (*e.g.* “cloritito”). Estas fácies, frequentemente associadas a zonas proximais de centros mineralizantes, caracterizam-se por abundante Chl (> 80%) depositada sob a forma de múltiplos impulsos, à qual se associam proporções variáveis de Qz + Cb + (Py > Sp + Gn >> Ccp). Os carbonatos que se associam à alteração mineralizante apresentam quer composição Fe-Dol ( $\text{Ca}_{0.91}\text{Mg}_{0.82}\text{Fe}_{0.26}$ ) com conteúdo não negligenciável em Mn (0.01 *apuf*), quer Sd ( $\text{Fe}_{0.81}\text{Mg}_{0.10}\text{Ca}_{0.07}$ ) com quantidades apreciáveis de Zn (0.01 *apuf*). Relativamente ao Rtl, são dignas de nota as variações nos conteúdos em Nb+Ta e Sn+W, mais elevadas em exemplares fortemente mineralizados/alterados comparativamente aos que apresentam indícios moderados de alteração/mineralização.

Apesar da relativa homogeneidade da associação mineral de alteração, a sua expressão regista ligeira variabilidade composicional em fases como Chl e micas brancas consoante o contexto litológico.

As micas brancas com formação ante-pico de deformação apresentam composições intermédias entre os termos Msc e Ph (envolvendo trocas catiónicas nas posições octa- e tetraédricas), acompanhadas da substituição do  $\text{K}^+$  por quantidades significativas de catiões divalentes (em particular Ba) e monovalentes (Na), estes últimos com especial relevância em amostras de **RB** e **RC**. Importa salientar que na projecção  $\text{K}^+$  vs.  $\text{Na}^+$ , esta fase mineral tende a formar grupos consoante a fácies que representa, sugerindo que a incorporação de  $\text{Na}^+$  na mica dependa, em parte, de gradientes químicos locais.

As Chl cuja formação deverá ter ocorrido num período ante-deformação apresentam composições intermédias entre os extremos Chm/Clc e Ame. Os desvios mais significativos no sentido Ame correspondem a Chl presentes em fácies cuja génese é imputável ao episódio hidrotermal mineralizante **eI** (*e.g.* exemplares de jasper, minérios), registando igualmente os conteúdos mais elevados em Fe. Estas Chl são ainda caracterizadas por valores elevados de Mn, em particular em análises associadas ao exemplar de jasper e ao minério representado na amostra GS18-4#142. Em amostras de minério, as Chl são igualmente caracterizadas por conteúdos elevados em Zn. Barriga (1983) reporta para o depósito de Feitais, a existência de variação significativa dos conteúdos em Mn em Chl com a posição estratigráfica, marcada por valores mais baixos nas zonas de *stockwork*, aumentando progressivamente em direcção

aos jaspes sobrejacentes. Nas amostras estudadas, os valores mais elevados de Mn em Chl remetem para o jaspe estudado, sendo mais baixos em amostras de minério.

Contrariamente a este padrão geral, destacam-se as análises representativas de exemplares de “cloritito” que, embora presumivelmente associadas ao desenvolvimento destes sistemas, apresentam os valores mais baixos em Fe e mais altos em Mg obtidos, bem como não registam incorporação equiparável de Mn ou Zn. À semelhança das micas brancas, também as análises obtidas para Chl gerada ante-pico de deformação em rochas encaixantes sugerem a existência de controlo químico local, uma vez que tendem a agrupar-se de acordo com a fácies na qual se inserem.

A aplicação do geotermómetro proposto por Lanari *et al.* (2014) para os diferentes grupos de Chl identificados, sugere que o sistema mineralizante conducente à deposição destas fases se tenha desenvolvido sob condições médias de temperatura da ordem de 300-310°C. Os valores médios de temperatura obtidos através de isótopos de oxigénio em Qz por Barriga (1983) para o depósito de Feitais são, contudo, mais baixos: 250°C nas zonas de *stockwork*, 200°C em minérios maciços e 130°C nos vulcanitos próximos do fundo marinho. Porém, temperaturas variáveis entre 270-315°C para as zonas de *stockwork* do depósito de Feitais são relatadas em Inverno *et al.* (2008) tomando como base dados microtermométricos de inclusões fluidas em Qz.

Não obstante a ligeira variabilidade química que caracteriza algumas das fases minerais secundárias, os dados de litogeoquímica multi-elementar obtidos para vários exemplares analisados são compatíveis com manifestações imputáveis a processos de alteração hidrotermal associados ao desenvolvimento de sistemas que concorrem para a génese de mineralizações de sulfuretos maciços. Tal é particularmente evidente nos valores obtidos para os índices CCPI e AI para as unidades metavulcânicas *s.l.*, reflectindo percursos composicionais característicos de manifestações hidrotermais, em particular Chl-Py(-Ser), Ser-Chl-Py e Chl-Cb. Também os valores calculados para os índices  $(As+Sb)/Sc - (Cu+Zn+Pb)/Sc - 5[(Fe_2O_3+MgO+MnO)/Al_2O_3]$  nas fácies metapelíticas, revelam evidências de alteração hidrotermal associada a sistemas mineralizantes. O cálculo de balanços de massa realizado para estas litologias sugere ainda que a alteração mineralizante seja marcada, de forma geral, por ganhos importantes em  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Al_2O_3$  e S, acompanhando perdas em  $Na_2O$  e  $K_2O$ , corroborando assim as observações petrográficas, nomeadamente a deposição de  $Qz + Chl \pm Ser \pm Cb \pm$  sulfuretos. As perdas em  $K_2O$  podem ainda ser justificadas através de possível albitização de feldspatos potássicos primários. Os ganhos registados em Mn são igualmente compatíveis com a sua presença em fases como Chl e alguns carbonatos. No que respeita os elementos menores, os cálculos efectuados permitem ainda inferir ganhos significativos em metais como Zn e As, e menos importantes em Cu e Pb, os quais podem ser explicados através da deposição de fases sulfuretadas, com sejam  $Py + Sp + Gn + Apy + Ccp$ .

Os factores de volume  $f$  calculados para fácies metavulcânicas félsicas indicam ainda incremento volumétrico durante a alteração, sugerindo que a introdução destes elementos no sistema tenha ocorrido, em grande parte, através de neoformação de fases secundárias que selam micro-redes de fracturas. Contrariamente, nas fácies **RI** e metapelíticas, os valores de  $f$  são negativos, sugerindo que estas rochas tenham sido sujeitas a lixiviação intensa e remoção de massa, com consequente diminuição de volume. As unidades intrusivas intersectadas nas várias sondagens registam também evidências de alteração penetrativa. Nos exemplares estudados, essa alteração é sobretudo marcada pela substituição intensa da matriz ígnea e preenchimento de veios pela associação  $Chl + Cal + Ep$  *s.l.*  $\pm$  (hidr)óxidos (estes últimos apenas na matriz). Contudo, esta associação mineral foi interpretada como o resultado de processos metassomáticos relacionados com a difusão de massa e condução de calor (metamorfismo de contacto) síncronos da instalação dos próprios corpos intrusivos. Não obstante, alguns exemplares registam ainda evidências de um segundo episódio de alteração, marcado pela deposição de  $Cal + Qz + Chl \pm Ser \pm$  sulfuretos ( $Py + Sp + Gn + Apy$ ) em veios que cortam os preenchimentos anteriormente mencionados. Em alguns destes exemplares, registou-se ainda a presença de pequenas disseminações de fases da série Cob-Gdf. A análise de fenocristais de Fsp revelou a presença de Ab ( $Ab_{96,52}$ ), sugerindo que também



estas rochas tenham sido sujeitas a albitização intensa. O cálculo de balanços de massa para estas rochas mostra tendências equivalentes às descritas para as restantes fácies, sugerindo que tenham sido palco de fenómenos de alteração hidrotermal, embora apresentem valores bem mais elevados de CCPI, como resultado da elevada reactividade química que as caracteriza.

No que respeita às fácies **RI**, a alteração dos litoclastos é muito semelhante à descrita para a matriz de **I**. Apesar de não ter sido identificada a associação  $\text{Cal} + \text{Qz} + \text{Chl} \pm \text{Ser} \pm (\text{Py} + \text{Sp} + \text{Gn} + \text{Apy})$  anteriormente descrita para **I**, importa assinalar a intensa substituição por sulfuretos (essencialmente Py) observada no exemplar GS18-4#60 (**Figura XI.1**).

### VIII.3. Minérios maciços de sulfuretos

A caracterização petrográfica dos minérios sugere que as várias lentículas amostradas representam o culminar de um processo hidrotermal polifásico que conduziu à deposição intensa de sulfuretos (**episódio I**). Os minérios correspondem a massas essencialmente piríticas ( $\text{Py} > 80\%$ ) com quantidades acessórias de Sp e Gn e escassas de Apy e Ccp. Embora tendencialmente maciças (até *ca.* de 5% de ganga), a proporção de interstícios em algumas amostras é localmente superior (mineralização semi-maciça); nestes casos, os sulfuretos são acompanhados de proporções variáveis de  $\text{Qz} + \text{Chl} + \text{Ser} + \text{Cb}$ . De forma geral, os minérios ocorrem sob a forma de bandados marcados por alternâncias, mais ou menos rítmicas, de níveis que se distinguem com base na granularidade da Py. As relações texturais observadas sugerem que o essencial da deposição de Sp e Gn (igualmente dispostas em bandas individualizáveis concordantes com os bandados) seja contemporâneo e suceda pelo menos em parte o essencial da deposição da Py. Este último sulfureto apresenta desvios significativos à composição ideal, marcados essencialmente pela incorporação de quantidades significativas de Zn, mais elevadas no núcleo relativamente ao bordo. Esta variação composicional entre núcleo e bordo sustenta as observações petrográficas efectuadas: nas fases iniciais de cristalização de Py, o conteúdo em Zn presente no fluido deverá ter sido incorporado (pelo menos em parte) nesta fase; em etapas subsequentes, durante a deposição da Sp, o menor coeficiente de distribuição deste metal para a Py, terá conduzido a concentrações mais baixas. Também as análises obtidas para Gn denotam composições que se desviam de forma significativa da composição ideal, marcadas por concentrações importantes em Fe e Zn, sugerindo que o fluido a partir do qual esta fase cristalizou tenha sido necessariamente muito rico em Fe e Zn, justificando as concentrações registadas nestes elementos, o que é compatível com a deposição contemporânea de Sp e Gn. Nas bandas ricas em  $\text{Sp} \pm \text{Gn}$  regista-se ainda a presença relativamente comum de Cst, desenvolvendo alinhamentos contidos em planos subparalelos aos dos bandados.

Apesar da Ccp acompanhar os diferentes impulsos de deposição dos restantes sulfuretos, a sua presença nos bandados é muito rara nas várias lentículas amostradas, onde também se observam disseminações de Apy. Alguns dos grãos de Apy apresentam inclusões de Py, Sp, Gn e Ccp, sugerindo que a sua formação seja ligeiramente tardia relativamente a estas fases sulfuretadas. As quantidades não negligenciáveis de As que caracterizam os bordos da Py corroboram a hipótese de que o influxo de arsénio no sistema (relacionado com a deposição de Apy) seja tardio.

Embora os horizontes mineralizados se associem, tanto a topo como a muro, à unidade **RB** ou à transição entre esta e a unidade **qfR**, as observações petrográficas efectuadas sugerem que a mineralização se encontra, pelo menos em parte, hospedada em fácies metapelíticas. A presença de frambóides de Py (parcialmente recristalizados) nestes locais é comum, representando o estágio mais precoce de sulfuretização, presumivelmente contemporâneo da diagénese.

Os dados de litogeoquímica de rocha total obtidos para as várias amostras de minério são compatíveis com as observações petrográficas, reflectindo quer a mineralogia sulfuretada principal quer aquela que se constitui como ganga associada. Os minérios são caracterizados por concentrações elevadas em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\bar{X} \approx 32,16 \text{ wt\%}$ ) e S ( $\bar{X} \approx 39,53 \text{ wt\%}$ ), mais baixas em Zn ( $\bar{X} \approx 4,07 \text{ wt\%}$ ) e Pb ( $\bar{X} \approx 1,42 \text{ wt\%}$ ), e menos importantes em Cu ( $\bar{X} \approx 0,66 \text{ wt\%}$ ) e As ( $\bar{X} \approx 0,31 \text{ wt\%}$ ), registando ainda conteúdos elevados em  $\text{SiO}_2$

( $\bar{X} \approx 10,88$  wt%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\bar{X} \approx 2,34$  wt%) e  $\text{MgO}$  ( $\bar{X} \approx 1,12$  wt%) e mais baixos em  $\text{CaO}$  ( $\bar{X} \approx 1,14$  wt%),  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $\bar{X} \approx 0,18$  wt%) e  $\text{Mn}$  ( $\bar{X} \approx 0,10$  wt%). Os valores de Zn, Pb e Cu permitem classificar estes minérios como polimetálicos do tipo “Zn-Pb-Cu”.

#### VIII.4. Modificações resultantes da deformação síncrona do metamorfismo

Todas as fácies encaixantes amostradas preservam evidências de importante acomodação de deformação. À escala microscópica observam-se diversos efeitos ópticos e arranjos texturais indicativos de cedência intra- e inter-granular heterogénea (*e.g.* extinção ondulante, subgranulação, arqueamento mineral de algumas fases, solução sob pressão, fracturação inter- e intra-granular, micro-dobramentos e *boudinage*) que, para taxas de deformação e condições de temperatura idênticas, é determinada pelas variações de granularidade, constituição mineralógica e proporção de matriz. As fácies estudadas registam ainda evidências de recristalização metamórfica, resultando no aumento quer da granularidade quer da euedria de algumas fases (*e.g.* Msc, Py, Apy, Cb). A recristalização metamórfica deverá ter concorrido ainda, em alguns casos, para a homogeneização química de fases como Chl e micas brancas; tal poderá explicar igualmente o motivo pelo qual estes minerais tendem a formar *clusters* de composição diferente em função da fácies onde ocorrem. Menos comumente, o metamorfismo de baixo grau deverá ter conduzido à formação de novas fases (*e.g.* Stp em fácies quimiogénicas). Nos minérios, as modificações decorrentes da deformação síncrona do metamorfismo são particularmente evidentes quer no acentuar da paralelização (transposição) de bandados muito possivelmente primários, quer na recristalização de fases sulfuretadas, em particular Py e Apy. Porém, a mais evidente modificação manifesta-se sob a forma de descontinuidades preenchidas por abundante Cb + Ccp e proporções variáveis de  $\text{Qz} \pm \text{Chl} \pm \text{Fl}$ , às quais se associa invariavelmente a deposição de sulfossais como Ttr e Brn, e nova deposição de quantidades geralmente acessórias de  $\text{Gn} + \text{Sp} + \text{Py} + \text{Apy}$  (**episódio II**). Nas fácies encaixantes, **eII** inclui ainda a deposição de  $\text{Syn} + \text{Brt}$ . No caso particular dos metapelitos regista-se ainda a presença de Stn e Btn, acompanhadas de quantidades acessórias de Cob-Gdf e fases de  $\text{Pb} + \text{Bi} \pm \text{Cu}$ .

As Chl associadas a **eII** em minérios, comparativamente às que se desenvolvem durante **eI**, apresentam conteúdo geralmente baixo em Zn. Os Cb registam importante variabilidade composicional consoante o contexto litológico no qual se inserem: em metapelitos ocorrem sob a forma de Cal, contrariamente aos minérios e unidade metavulcânicas onde ocorrem sob a forma de Ank-Dol com importante conteúdo em Mn (mais elevado nos minérios). A análise sistemática destas fases revelou ainda empobrecimento em Fe (e consequente enriquecimento em Mg) do núcleo para o bordo dos cristais.

Comparativamente à mesma mineralogia sulfuretada depositada durante **eI**, as fases geradas em **eII** tendem a apresentar composições mais próximas das ideais. Contudo, registam geralmente conteúdos importantes em metais não estequiométricos como sejam Bi, Se, Sb, Ag, *etc.*, que, embora representados na caracterização global dos minérios, de acordo com os dados de química mineral obtidos, não poderiam ser explicados (na sua totalidade) pela associação identificada em **eI**. Assim, apesar de **eII** ter expressão nas rochas encaixantes, revela-se particularmente relevante detalhar a sua influência nos minérios, atendendo ao importante contributo metalífero que se lhe associa.

A deposição de quantidades apreciáveis de Ccp e menos importantes de Ttr e Brn durante **eII** são responsáveis pelos conteúdos elevados em Cu apresentados por alguns minérios onde este episódio é particularmente expressivo, conduzindo à sua projecção no campo “Cu-Type”. Também os valores mais elevados em Zn e Pb se encontram associados a amostras que representam a sobreposição de **eI** e **eII**, marcando o acréscimo de Sp, Gn e quantidades acessórias de Ttr e Brn em **eII**. Para além dos incrementos significativos em metais base, os dados de química mineral obtidos sugerem ainda que **eII** tenha sido responsável pela introdução de conteúdos importantes em vários metais potencialmente valorizantes e penalizantes, tal como indicado pelo cálculo de balanço de massa para os minérios. No que respeita elementos potencialmente penalizantes, destacam-se os contributos da Apy, Brn e Ttr (esta

última com desvio tenantítico) nos valores de As e Sb obtidos. Relativamente ao Cd, uma vez que a Sp constitui o principal portador deste metal, uma nova etapa de deposição desta fase poderá explicar os ganhos registados. Os conteúdos em Co e Ni poderão ser explicados pela deposição de fases como Py (em particular em metapelitos) e minerais da série Cob-Gft: contudo, estes últimos apenas foram identificados em contexto metapelítico. Importa salientar que, embora o cálculo de balanços de massa para os minérios sugira perda em Co associada a **eII**, os dados de química mineral obtidos indicam tendência em sentido oposto. De acordo com os dados de química mineral obtidos, não é possível atribuir os ganhos em Hg indicados pelo cálculo de balanços de massa para os minérios a fases minerais específicas. É, no entanto, possível que a sua presença de encontre associada à deposição quer dos sulfuretos quer dos sulfossais (*e.g.* Ryall, 1979). No que respeita os elementos potencialmente valorizantes, destacam-se os conteúdos em Ag, os quais deverão ser explicados quer pela deposição de Ttr, atendendo ao desvio que apresenta no sentido da Fgt, quer pelas concentrações não negligenciáveis (embora irregulares) que caracterizam a Ccp e Py associadas a **eII**. Relativamente a esta última fase sulfuretada destaca-se igualmente o conteúdo interessante em Au associado ao bordo dos cristais. Os dados obtidos sugerem ainda que os ganhos em Se que acompanham **eII** se devam à deposição de Gn e Ccp. A concentração não negligenciável em Bi (*ca.* 90 ppm) que caracteriza a generalidade dos minérios deverá ser explicada, em grande parte, pelo evento **eII**; tal é corroborado pelo valor anómalo em Bi (*ca.* 560 ppm) que caracteriza a amostra GS18-4#128, representando um domínio onde a associação que tipifica **eII** é particularmente expressiva. A presença de Btn na amostra GS18-4#156, representativa de metapelito afectado por **eII**, sugere ainda que a mesma possa justificar parte dos conteúdos em Bi, embora não tenha sido observada nos minérios. Quanto ao In, a sua concentração deverá estar associada principalmente a quantidades traço na Sp (**eI** e **eII**), mas também em fases como Apy e Ccp associadas a **eII**. Os valores em Sn deverão ser resultado da presença de rara Cst associada às bandas ricas em Sp  $\pm$  Gn, mas igualmente da deposição de escassa Stn associada a **eII** (geralmente incluída em Ccp), de alguma forma corroborando os ganhos indicados pelo cálculo de balanços de massa para os minérios. Os dados de geoquímica multi-elementar corroboram ainda a associação que tipifica **eII** ( $Cb \pm Qz \pm Brt \pm Fl$ ) atendendo aos valores de concentração localmente elevados em CaO, Ba e F apresentados por algumas amostras. Os ganhos em Mn poderão ser explicados quer através da incorporação deste metal em carbonatos, quer enquanto elemento-traço em alguns sulfuretos, em particular Sp e Py (esta última com especial interesse em “contexto metapelítico”). O episódio mineralizante **eII** poderá ainda justificar o desvio ao longo do vector Chl-Cb apresentado por várias amostras de minério, nomeadamente através do incremento significativo em carbonato na matriz.

#### VIII.4. Implicações para o modelo genético de Gavião

A alteração mineralizante que caracteriza as unidades encaixantes de Gavião é semelhante àquela descrita para Aljustrel (*e.g.* Barriga, 1983; Barriga & Fyfe, 1988; Relvas, 1991; Relvas *et al.*, 2011; Inverno *et al.*, 2008), e para outros depósitos da FPI (*e.g.* Pilmer & Carvalho, 1982; Tornos *et al.*, 1998; Relvas *et al.*, 2006; Inverno *et al.*, 2015). Não obstante o tipo de amostragem efectuado não ter permitido definir para o sector W de Gavião, à semelhança de outros em Aljustrel (Barriga, 1983; Relvas, 1991), um zonamento de alteração, a mineralogia dominante identificada e os dados de liogeoquímica multi-elementar obtidos são compatíveis com halos marcados por alteração mineralizante do tipo 1 e, com menor expressão, do tipo 2 (Barriga, 1983; Relvas, 1991).

Tal como descrito por Relvas (1991), a maior expressão da alteração tipo 1, geralmente associada à zona nuclear do sistema hidrotermal, foi identificada no depósito de Gavião entre os perfis P6 e P8 (**Figura III.1**), nomeadamente na sondagem GS-18003, onde se intersectaram “clorititos”. O autor salienta ainda que, apesar de nesta zona o minério ser característico de mineralizações periféricas, os vulcanitos a muro apresentam conteúdos superiores em Cu. Contudo, conforme discutido anteriormente, as observações registadas apontam para que a deposição de Cu se encontre essencialmente associada a modificações

tardias. Ou seja, com excepção das amostras de minério onde se registam efeitos imputáveis a **eII**, a mineralogia primária é dominada por Py e quantidades acessórias de Sp ± Gn. De facto, também os “clorititos” estudados registam exactamente isso, nomeadamente através da presença de bandas de intensa acomodação de deformação que são tardiamente cortadas por veios preenchidos por abundante Cb + Ccp. Relvas (1991) descreve ainda existência de um desfaseamento (ca. 300-400m) entre o *stockwork* central (entre os perfis P6 e P8) e a zona onde se registam os maiores teores em Cu (entre perfis os P3 e P4) (**Figura III.1**). Contudo, não é claro que os elevados teores em Cu relatados sejam resultado de mineralização primária associada ao desenvolvimento do sistema VHMS. Relvas *et al.* (2011) sugere ainda que a distribuição dos metais base nas massas mineralizadas de Gavião se deve a (i) refinamento metalífero síncrono do desenvolvimento do sistema VHMS, ou a (ii) fenómenos de redistribuição síncronos da deformação controlados por falhas. Ambas as hipóteses pressupõem, no entanto, que a contribuição em metais base seja primária, podendo ou não ter sujeita a retrabalhamento tectónico subsequente. Marcoux *et al.* (1996) sugerem ainda que a presença de fases de Bi, Co, Te, Se e Cu associadas à zona nuclear dos sistemas reflectam processos de refinamento metalífero resultantes da interacção com fluidos de maior temperatura ricos em Cu.

No sentido de melhor compreender a génese das mineralizações, e uma vez que as remobilizações aportam importante conteúdo metalífero (não apenas em metais base mas igualmente em elementos potencialmente valorizantes e penalizantes dos minérios), importa determinar a origem quer dos fluidos quer dos metais que se associam a **eII**. Esta é uma tarefa da maior relevância, principalmente atendendo às possíveis implicações que daqui decorrem no que respeita à gestão das actividades mineiras, nomeadamente na definição de frentes de exploração e no processamento dos minérios.

Embora nos exemplares estudados não tenham sido observadas evidências para a ocorrência de refinamento metalífero, sugerindo que a mineralização VHMS deva a sua origem a fluidos tipicamente de mais baixa temperatura, o mesmo é descrito para outros sectores da FPI (e.g. Relvas *et al.*, 2006). Desta forma, o estudo detalhado da mineralogia e relações texturais de um conjunto lato de amostras representativas quer da massa NW, quer SW como um todo, poderá ajudar a resolver esta dúvida. Ainda assim é importante considerar a hipótese de que pelo menos parte do *input* metalífero associado a **eII** seja fruto de contribuições externas ao sistema VHMS original.

Almodóvar *et al.* (2019) propõem que a presença de mineralizações ricas em As-Sb possam associar-se à instalação de diques de natureza máfica a intermédia num período ante-dobramento, e que o contributo destes fluidos hidrotermais ricos em As-Sb poderão justificar zonas de maior teor. De facto, e contrariamente ao que caracteriza as unidades intrusivas na continuação SE da região estudada (onde estas rochas não apresentam evidências de deformação ou de alteração hidrotermal mineralizante e preservam as suas texturas primárias, sugerindo que o momento da sua instalação tenha ocorrido num período pós-D<sub>1</sub>; Relvas, 1991), no sector W de Gavião é possível que pelo menos parte das intersecções intrusivas correspondam a corpos cuja instalação tenha ocorrido num período ante-pico de deformação. Tal é corroborado quer pela deformação expressa nos exemplares estudados, mas igualmente pelas evidências de alteração mineralizante anteriormente descritas. Também a presença das unidades **RI** na sequência litostratigráfica do CVS sustentam esta hipótese: (i) apresentam assinaturas químicas equiparáveis; (ii) correspondem a rochas com textura brechóide fortemente estirada, cujos clastos são idênticos à matriz de **I**, sugerindo que a sua formação possa encontrar-se associada a desagregação e/ou brechificação de unidades **I**, e (iii) ocorrem geralmente sob a forma de troços com reduzida dimensão (cm a mm) na dependência de zonas de falha ou na proximidade de unidades intrusivas.

Segundo Almodóvar *et al.* (2019), a mineralogia resultante destes eventos hidrotermais associados a intrusões é muito semelhante àquela que se associa aos eventos hidrotermais anteriores, sendo caracterizada por Py + Ccp + Sp + Gn + Ttr-Tnt e ainda sulfuretos e sulfossais de As-Sb (e.g. Apy, Brn, boulangerite and wittichenite). No que respeita os elementos-traço associados, os autores destacam ainda a possível contribuição destes fluidos enquanto fonte de Au, Ag e Bi.



O modelo genético proposto por Almodóvar *et al.* (2019) pressupõe, no entanto, a existência de um nível de sílica a muro das mineralizações, essencial para a sua evolução. Embora descrito para outros depósitos de Aljustrel, durante a reclassificação de sondagens não foi possível concluir relativamente ao possível papel das fácies quimiogénicas enquanto rochas “capeadoras” da mineralização (Barriga, 1983; Relvas, 1991), uma vez que tendem a ocorrer associadas quer a zonas de falha, quer preservadas no seio de intrusões. Não obstante, alguns chertes *s.l.* estudados sugerem a actuação de fenómenos de redução, marcados pela formação de Mgt, cuja génese poderá dever-se à presença de disseminações de Hem na matriz de Qz. Também o jaspe estudado regista características de “branqueamento” e texturas pseudo-brechóides, imputáveis à circulação de fluidos redutores pouco antes da sua litificação.

A contribuição de fluidos magmático-hidrotermais de natureza intermédia poderão ainda explicar a presença de quantidades acessórias de Fl associada a **eII**, mas também a possível dissolução de fases primárias (*e.g.* Mnz, Xtm, Zrn e Ap) ou secundárias previamente depositadas (*e.g.* Ep com conteúdo em ETR) com consequente formação de Syn, no entanto, o mesmo não é verdade para fluidos de natureza máfica. Não obstante Almodóvar *et al.* (2019) proporem que a deposição de Brt tenha ocorrido nas etapas iniciais do desenvolvimento do sistema, os autores não excluem a hipótese de que esta possa igualmente depositar-se em etapas tardias, à semelhança do que se regista para o sector W de Gavião.

#### VIII.5. Considerações finais

Os minérios de sulfuretos maciços estudados preservam evidências claras de deformação síncrona do metamorfismo, que podem ser interpretadas sem necessidade de recorrer a intervenção de fluidos externos, nomeadamente através de: **(i)** forte transposição dos bandados muito presumivelmente primários, uma vez que se observam fenómenos de substituição quer das unidades vulcânicas a muro cujos *fabric* ( $S_0$  transposto por  $S_1$ ) são concordantes com os níveis bandados nos minérios, quer de rochas metapelíticas onde a xistosidade tem a mesma orientação que os leitos mineralizados; **(ii)** recristalização importante de algumas fases primárias, nomeadamente Py e Apy; **(iii)** níveis ricos em  $Sp \pm Gn$  mostram evidências de deformação dúctil, resultando em texturas tipo exsolução à “macro-escala” nas quais a Py tende a comportar-se de forma rígida, muitas vezes encontrando-se fracturada.

À semelhança de outros sectores na FPI, o contributo em diversos metais que tipificam a associação **eII** poderão ter resultado de retrabalhamento tectónico após refinamento metalífero prévio durante a evolução do sistema VHMS, invocando a interacção de fluidos de mais alta temperatura ricos em Cu. Neste sentido importa salientar que, apesar de nos exemplares estudados não terem sido observadas evidências para o efeito, as mesmas poderão ter sido obliteradas como resultado de homogeneização em função do grau de recristalização atingido durante a deformação.

Ainda assim, é importante considerar que a totalidade, ou pelo menos parte, do conteúdo metalífero expresso em **eII** seja resultado de contribuições externas. Tal contributo poderá ter ocorrido num período: **(i)** anterior à deformação síncrona do metamorfismo, através da contribuição de fluidos magmático-hidrotermais aquando da instalação de unidades intrusivas de natureza intermédia a máfica; ou **(ii)** durante a própria deformação/metamorfismo, uma vez que as fácies metapelíticas preservam evidências para que algumas fases minerais depositadas durante **eII** se desenvolvam ao longo de  $S_2$  (sem prejuízo de que o mesmo possa ocorrer nas etapas iniciais da deformação), necessariamente invocando contribuições externas de fluidos. A natureza da associação que tipifica **eII** sugere tratarem-se de fluidos aquocarbónicos ricos em F (presença de quantidades acessórias de Fl e Syn), possivelmente resultantes da interacção de fluidos magmático-derivados com outros que tenham sido capazes de lixiviar quer a sequência encaixante, quer as unidades subjacentes, permitindo o seu enriquecimento em F (*e.g.* em granitóides) e em  $CO_2$  (*e.g.* rochas carbonatadas e/ou carbonosas).

É igualmente importante propor que a génese destas mineralizações possa ainda dever-se à acção de vários dos processos acima mencionados, podendo não se encontrar limitada a apenas um deles, e nesse sentido ser o resultado de uma história evolutiva longa, marcada por eventos de diversas naturezas.

## IX. Conclusões

Na região W de Gavião, a sequência intersectada compreende 60-70 m de depósitos cenozóicos abaixo dos quais se encontram rochas metavulcânicas *s.l.* e metassedimentares *s.l.* pertencentes ao CVS, registando importante acomodação da deformação (dobramentos, laminação e empilhamento tectónico), localmente cortadas por unidades intrusivas. As fácies metavulcânicas félsicas (rio-dacíticas), em particular clásticas, aparentam dominar largamente sobre as restantes litologias. A definição de uma quimio-estratigrafia, com base nos resultados obtidos com FRX-P posteriormente validados com FRX, e produção de SGI, permitiram definir uma sequência que, da base para o topo, inclui: **qfR**, **RA**, **RB**, **RI**, **RC** e, possivelmente, **qfR II**. A análise petrográfica sugere que parte das unidades intrusivas intersectadas sejam pré-deformação, podendo ainda estar na origem das fácies **RI** (com assinatura equiparável e textura brechóide que integram a sequência do CVS). A alteração mineralizante é caracterizada pela deposição de  $Qz + Chl \pm Ser \pm Cb \pm (Py > Sp + Gn > Ccp + Apy) \pm Rtl$  sob a forma de impulsos múltiplos, registando-se também fenómenos de albitização e sericitização de Fsp, menos frequentemente de epidotização e carbonatação. Esta alteração é particularmente evidente em fácies clásticas, uma vez que o escoamento dos fluidos é facilitado pela permeabilidade primária, permitindo a progressão das frentes de reacção química sob condições de fluido/rocha superiores. Os dados de litogeoquímica obtidos para as rochas encaixantes sugerem ainda que a alteração mineralizante seja marcada por ganhos importantes em  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Al_2O_3$  e S, menos importantes em Mn, Zn, As, Cu e Pb, e ainda perdas em  $Na_2O$  e  $K_2O$ . Salientam-se ainda as diferenças dos conteúdos em (Nb+Ta) e (Sn+W) apresentados por Rtl em exemplares forte/moderadamente alterados/mineralizados; atendendo à sua elevada densidade específica, tornando-o facilmente separável por meio gravíticos, e ao facto de ser um mineral resistato, a sua utilização enquanto possível indicador da presença e/ou proximidade a sistemas hidrotermais do tipo VHMS pode representar tema de trabalhos futuros (*e.g.* em campanhas de pedogeoquímica e/ou sedimentos de corrente, uma vez que deverá representar fontes *in situ*). Os minérios estudados representam massas tipicamente periféricas do tipo “Zn-Pb-Cu”, ocorrendo sob a forma de bandados maioritariamente de Py, com quantidades acessórias de Sp + Gn igualmente dispostas ao longo de níveis coplanares aos bandados nos quais a Cst é comum. A Ccp e a Apy são raras, ocorrendo ambas disseminadas. A génese destas mineralizações deverá resultar da substituição de unidades metavulcânicas (do tipo **RB** ou transição entre este e **qfR**) e também metapelíticas. Os dados de litogeoquímica obtidos para minérios são também compatíveis com as observações registadas, sendo caracterizados por concentrações elevadas em  $Fe_2O_3$  e S, mais baixas em Zn, Pb, e menos importantes em Cu e As, e ainda conteúdos elevados em  $Si_2O$ ,  $Al_2O_3$  e  $MgO$ , e mais baixos em  $CaO$ ,  $Na_2O$  e Mn. As modificações resultantes da deformação síncrona do metamorfismo expressam-se essencialmente sob a forma de efeitos ópticos, arranjos texturais, recristalização metamórfica, formação pontual de novas fases e, no caso dos minérios, transposição de bandados (primários). Durante a deformação síncrona de metamorfismo, criam-se condições adequadas ao desenvolvimento da associação  $Cb + sulfuretos (Ccp + Ttr + Brn \pm Gn \pm Sp \pm Py \pm Apy) \pm Qz \pm Chl \pm Fl$ . Nas rochas encaixantes, este episódio é ainda acompanhado da deposição de  $Syn + Brt$  e, no caso particular dos metapelitos,  $Stn + Btn \pm Cob-Gdf \pm$  fases de  $Pb+Bi \pm Cu$ . Os dados obtidos sugerem que este episódio seja responsável por importante contributo metalífero em: (i) metais base, responsáveis pela geração de zonas mineralizadas particularmente enriquecidas em Cu, mas também pelos mais elevados conteúdos em Zn e Pb obtidos; e (ii) elementos potencialmente valorizantes (Se, Bi, Sn, Ag e Au) e penalizantes (As, Sb, Hg, Ni, Cd e Co). Este contributo metalífero poderá resultar de remobilização tectónica após: (i) refinamento metalífero durante a evolução do sistema VHMS; e/ou (ii) contribuições externas, nomeadamente num período ante-deformação, por influência de fluidos magmático-hidrotermais associados à instalação das unidades intrusivas de natureza intermédia a máfica, ou sin-deformação envolvendo fluidos aquocarbónicos ricos em F, possivelmente resultantes da interacção de fluidos magmático-derivados com outros capazes de lixiviar a sequência encaixante e unidades subjacentes.

## **X. Referências bibliográficas**

- Almodóvar, G. R., Yesares, L., Sáez, R., Toscano, M., González, F., & Pons, J. M., 2019, Massive sulfide ores in the Iberian pyrite belt: Mineralogical and textural evolution: *Minerals*, v. 9.
- Alves, P. N., & Pinto, A., 2014, Estudo mineralógico da massa do Gavião.
- Andrade, R. F., & Schermerhorn, L. J. G., 1971, Aljustrel e Gavião, in Carvalho, D., Goinhas, J. A. C., and Schermerhorn, L. J. G. eds., *Principais jazigos minerais do Sul de Portugal: I Congr. Hispano-Luso-Americano Geol. Econ., Livro-Guia excurs. No. 4*, p. 32–39.
- Barrett, T. J., Dawson, G. L., & MacLean, W. H., 2008, Volcanic stratigraphy, alteration, and sea-floor setting of the Paleozoic Feitais massive sulfide deposit, Aljustrel, Portugal: *Economic Geology*, v. 103, p. 215–239.
- Barrie, T. C., Amelin, Y., & Pascual, E., 2002, U-Pb geochronology of VMS mineralization in the Iberian Pyrite belt: *Mineralium Deposita*, v. 37, p. 684–703.
- Barriga, F. J. A. S., 1983, Hydrothermal metamorphism and ore genesis at Aljustrel, Portugal: Tesis Doctoral, University of Western Ontario, 363 pp., v. Tesis Doct.
- Barriga, F. J. A. S., & Fyfe, W. S., 1988, Giant pyritic base-metal deposits: The example of Feitais (Aljustrel, Portugal): *Chemical Geology*, v. 69, p. 331–343.
- Barriga, F. J. A. S., & Kerrich, R., 1984, Extreme  $^{18}\text{O}$ -enriched volcanics and  $^{18}\text{O}$ -evolved marine water, Aljustrel, Iberian Pyrite Belt: transition from high to low Rayleigh number convective regimes: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 48, p. 1021–1031.
- Boogaard, M., & Schermerhorn, L., 1981, Conodont faunas from Portugal and southwestern Spain Part 6. A Lower Famennian conodont fauna at Monte do Forno da Cal (South Portugal): *Scripta Geologica*, v. 63, p. 1–16.
- Butler, R. F., 1992, *Paleomagnetism: magnetic domains to geological terrains* (B. scientific Publications, Ed.): Boston, MA, 319 p.
- Butler, R. F., 2004, *Paleomagnetism: magnetic domains to geological terrains* (U. of Portland, Ed.): Oregon, 238 p.
- Codeço, M. S., Mateus, A., Figueiras, J., Rodrigues, P., & Gonçalves, L., 2018, Development of the Ervidel-Roxo and Figueirinha-Albernoa volcanic sequences in the Iberian pyrite Belt, Portugal: Metallogenic and geodynamic implications: *Ore Geology Reviews*, v. 98, p. 80–108.
- Damião, J., Vide, R., Cuttle, J., & Carmichael, R. Caracterização geo-estrutural da jazida da Estação, Aljustrel: Estado actual do conhecimento: Não publicado, p. 10.
- Deer, W. A., Howie, R. A., & Zussman, J., 2008, *Minerais Constituintes das rochas - uma introdução* (F. C. Gulbenkian, Ed.): 727 p.
- Donaire, T., Pascual, E., Sáez, R., Pin, C., Hamilton, M. A., & Toscano, M., 2020, Geochemical and Nd isotopic signature of felsic volcanic rocks as a proxy of volcanic-hosted massive sulphide deposits in the Iberian Pyrite Belt (SW, Spain): The Paymogo Volcano-Sedimentary Alignment: *Ore Geology Reviews*, v. 120, p. 103408.
- Gomes, M., & Rosa, C., 2014, Enquadramento Geológico do Jazigo do Gavião.
- Gonçalves, J., 2014, *Projecto do Gavião: Relatório Final*.
- Inverno, C., Díez-Montes, A., Rosa, C., García-Crespo, J., Matos, J., García-Lobón, J. L., Carvalho, J.,

- Bellido, F., Castello-Branco, J. M., Ayala, C., Batista, M. J., Rubio, F., Granado, I., & Tornos, F., 2015, Introduction and Geological Setting of the Iberian Pyrite Belt, in Weihed, P. ed., 3D, 4D and Predictive Modelling of Major Mineral Belts in Europe: Mineral Resources Review, p. 191–208.
- Inverno, C. M. C., Solomon, M., Barton, M. D., & Foden, J., 2008, The Cu stockwork and massive sulfide ore of the Feitais volcanic-hosted massive sulfide deposit, Aljustrel, Iberian Pyrite Belt, Portugal: A mineralogical, fluid inclusion, and isotopic investigation: *Economic Geology*, v. 103, p. 241–267.
- Jesus, A. P., Munhá, J., Mateus, A., Tassinari, C., & Nutman, A. P., 2007, The Beja Layered Gabbroic Sequence (Ossa-Morena Zone, Southern Portugal): geochronology and geodynamic implications: *Geodinamica Acta*, v. 20, p. 139–157.
- Jorge, R. C. G. S., Relvas, J. M. R. S., & Matos, J. X., 2006, Geochemistry of metasediments from the Phyllite-Quartzite Group, Iberian Pyrite Belt: implications for provenance and source-area weathering (progress report), in VII Congresso Nacional de Geologia. Livro de Resumos I: Estremoz, Universidade de Évora, Portugal, p. 175–178.
- Julivert, M., Fontboté, J. M., Ribeiro, A., & Conde, L., 1972, Memoria del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares: Inst. Geol. Mineral. Esp., 113 p.
- Amaral, J. L., Rita Solá, A., Bento dos Santos, T. M., Tassinari, C. C. G., & Gonçalves, J., 2021, U-Pb zircon SHRIMP dating of a protracted magmatic setting and its volcanic emplacement: insights from the felsic volcanic rocks hosting the sulphide ore of the giant Aljustrel Deposit, Iberian Pyrite Belt: *Ore Geology Reviews*, p. 104–147.
- Lanari, P., Wagner, T., & Vidal, O., 2014, A thermodynamic model for di-trioctahedral chlorite from experimental and natural data in the system MgO-FeO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O: Applications to P-T sections and geothermometry: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 167, p. 1–19.
- Large, R. R., 1992, Australian Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposits: Features, Styles and Genetic Models: *Economic Geology*, v. 87, p. 471–510.
- Large, R. R., Gemmell, J. B., & Paulick, H., 2001, The alternation box plot: A simple approach to understanding the relationship between alteration mineralogy and lithogeochemistry associated with volcanic-hosted massive sulfide deposits: *Economic Geology*, v. 96, p. 957–971.
- Leistel, J. M., Marcoux, E., Thiéblemont, D., Quesada, C., Sánchez, A., Almodóvar, G. R., Pascual, E., & Sáez, R., 1998, The volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt: Review and preface to the Thematic Issue: *Mineralium Deposita*, v. 33, p. 2–30.
- Leitão, J. C. R., 1992, The Aljustrel overthrust problem in view of the new evidence from the Sto Antão area: *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, v. 78, p. 93–102.
- Leitão, J. C. R., 1997, Geology of the Aljustrel massive deposits: Society of Economic Geologists Field Trip Guidebook Series, v. 27, p. 82–97.
- Leitão, J. C. R., 2006, Texturas vulcânicas e significado vulcanológico das rochas de Aljustrel (Faixa Piritosa Ibérica, Portugal), in Livro de Resumos do VII Congresso Nacional de Geologia, Universidade de Évora. Vol I:, p. 179–182.
- Leitão, J. C. R., 2009, Geodinâmica varisca, vulcano-sedimentar e tectónica, na área de Aljustrel: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Leitão, J. C. R., 2014, Arquitectura da bacia vulcano-sedimentar de Aljustrel: *Comunicações Geológicas*, v. 101, p. 469–474.



- Lötze, F., 1945, Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta: *Geotekton Forsche*, v. 6, p. 78-92.
- Luz, F., Mateus, A., Figueiras, J., Tassinari, C. C. G., Ferreira, E., & Gonçalves, L., 2019, Recognizing metasedimentary sequences potentially hosting concealed massive sulfide accumulations in the Iberian Pyrite Belt using geochemical fingerprints: *Ore Geology Reviews*, v. 107, p. 973–998.
- Luz, F., Mateus, A., Rosa, C., & Figueiras, J., 2020, Geochemistry of Famennian to Viséan Metapelites from the Iberian Pyrite Belt: Implications for Provenance, Paleo-Redox Conditions and Vectoring to Massive Sulfide Deposits: *Natural Resources Research*, v. 29, p. 3613–3652.
- Marcoux, E., Moëlo, Y., & Leistel, J. M., 1996, Bismuth and cobalt minerals as indicators of stringer zones to massive sulphide deposits, Iberian Pyrite Belt: *Mineralium Deposita*, v. 31, p. 1–26.
- Mathur, R., Ruiz, J., & Tornos, F., 1999, Age and sources of the ore at Tharsis and Rio Tinto, Iberian pyrite belt, from Re-Os isotopes: *Mineralium Deposita*, v. 34, p. 790–793.
- Matos, J. X., Pereira, Z., Fernandes, P., Rosa, D. R. N., & Oliveira, J. T., 2010, Contribuição para o estudo da estrutura da mina de Aljustrel (Faixa Piritosa Ibérica) com base em novos dados palinoestratigráficos do Complexo Vulcano-Sedimentar e da Fm. Mértola, in VIII Congresso Nacional de Geologia:, p. 1–4.
- Mendes, M., Pereira, Z., Matos, J. X., Albardeiro, L., Morais, I., Solá, R., Salgueiro, R., Pacheco, N., Araújo, V., Inverno, C., & Oliveira, J. T., 2020, New insights on the middle Givetian/middle Frasnian palynofloras from the Phyllite-Quartzite Formation in the Neves-Corvo mine region (Iberian Pyrite Belt, Portugal): *Revue de Micropaleontologie*, v. 68.
- Mitjavila, J., Martí, J., & Soriano, G., 1997, Magmatic evolution and tectonic setting of the Iberian Pyrite Belt volcanism: *Journal of Petrology*, v. 38, p. 727–755.
- Moreira, B. B., Figueiras, J., Rodrigues, P. C. R., & Jorge, R. C. G. S., 2015, A new manganese mineralisation type in the Iberian Pyrite Belt ?, in X Congresso Ibérico de geoquímica/XVIII Semana da Geoquímica: Alfragide, Portugal, p. 135–138.
- Moreno, C., Sierra, S., & Sáez, R., 1996, Evidence for catastrophism at the Famennian-Dinantian boundary in the Iberian Pyrite Belt, in Strongen, P., Sommerville, I. D., and Jones, G. L. eds., *Recent advance in Lower Carboniferous Geology: Geological Society Special Publication*, p. 153–162.
- Munhá, J., 1976, Nota preliminar sobre o metamorfismo na Faixa Piritosa Portuguesa: *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, v. 60, p. 151–161.
- Munhá, J., 1983a, Hercynian Magmatism in the Iberian Pyrite Belt, in Lemos de Sousa, J. and Oliveira, J. T. eds., *The Carboniferous of Portugal: Mem Serv Geol Port*, p. 39–81.
- Munhá, J., 1983b, Low-grade regional metamorphism in the Iberian Pyrite Belt: *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, v. 69, p. 3–35.
- Munhá, J., Fyfe, W. S., and Kerrich, R., 1980, Adularia, the characteristic mineral of felsic spilites: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 75, p. 15–19.
- Oliveira, J. T., 1983, The marine Carboniferous of South Portugal: a stratigraphic and sedimentologic approach, in Sousa, M. and Oliveira, J. T. eds., *The Carboniferous of Portugal*:, p. 3–37.
- Oliveira, J. T., 1990, South Portuguese Zone: introduction. Stratigraphy and synsedimentary tectonism, in Dallmeyer, R. D. and Martinez, G. E. eds., *PreMesozoic Geology of Iberia: Springer-Verlag*, p. 333–347.

- Oliveira, J. T., Relvas, J. M. R. S., Pereira, Z., Matos, J. X., Rosa, C. J., & Rosa, D., 2013, *Geologia da Zona Sul Portuguesa, com ênfase na estratigrafia, vulcanologia física, geoquímica e mineralizações da Faixa Piritosa*, in Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. E., and Kullberg, J. C. eds., *Geologia de Portugal. Vol. I - geologia Pré-Mesozóica de Portugal*: Escolar Editora, p. 673–766.
- Oliveira, J. T., Quesada, C., Pereira, Z., Matos, J. X., Solá, A. R., Rosa, D., Albardeiro, L., Díez-Montes, A., Morais, I., Inverno, C., Rosa, C., & Relvas, J. M. R. S., 2019, *South Portuguese Terrane: A continental affinity exotic unit*, in Quesada, C. and Oliveira, J. T. eds., *The geology of Iberia: A geodynamic approach, regional geology reviews*: Springer Berlin, p. 173–206.
- Pereira, M. F., Gutiérrez-Alonso, G., Murphy, J. B., Drost, K., Gama, C., & Silva, J. B., 2017, *Birth and demise of the Rheic Ocean magmatic arc(s): Combined U–Pb and Hf isotope analyses in detrital zircon from SW Iberia siliciclastic strata*: *Lithos*, v. 278–281, p. 383–399.
- Pereira, Z., Matos, J. X., Fernandes, P., & Oliveira, J. T., 2007, *Devonian and Carboniferous palynostratigraphy of the South Portuguese Zone, Portugal - An overview*: *Comunicacoes Geologicas*, v. 94, p. 53–79.
- Pereira, Z., Matos, J. X., Fernandes, P., Jorge, R. C. G. S., & Oliveira, J. T., 2010, *Qual a idade mais antiga da Faixa Piritosa ? Nova idade Givetiano inferior para o Grupo Filito-Quartzítico ( Anticlinal de S . Francisco da Serra , Faixa Piritosa ) Which is the oldest age for the Pyrite Belt ? ( São Francisco da Serra Anticline , Pyrite: GEOTIC – Sociedade Geológica de Portugal VIII Congresso Nacional de Geologia*, v. 17, p. 1–4.
- Pereira, Z., Matos, J. X., Solá, A. R., Batista, M. J., Salgueiro, R., Rosa, C., Albardeiro, L., Mendes, M., Morais, I., De Oliveira, D., Pacheco, N., Araújo, V., Castelo Branco, J. M., & Neto, R., 2021, *Geology of the recently discovered massive and stockwork sulphide mineralization at Semblana, Rosa Magra and Monte Branco, Neves-Corvo mine region, Iberian Pyrite Belt, Portugal*: *Geological Magazine*.
- Plimer, I. R., & de Carvalho, D., 1982, *The geochemistry of hydrothermal alteration at the Salgadinho copper deposit, Portugal*: *Mineralium Deposita*, v. 17, p. 193–211.
- Priem, H. N. A., Boelrijk, N. A. I. M., Hebeda, E. H., Schermerhorn, L. J. G., Verdurmen, E. A. T., & Verschure, R. H., 1978, *Sr isotopic homogenization through whole-rock systems under low-greenschist facies metamorphism in Carboniferous pyroclastics at Aljustrel (southern Portugal)*: *Chemical Geology*, v. 21, p. 307–314.
- Quesada, C., 1991, *Geological constraints on the Paleozoic tectonic evolution of tectonostratigraphic terranes in the Iberian Massif*: *Tectonophysics*, v. 185, p. 225–245.
- Quesada, C., 1996, *Estructura del sector español de la Faja Pirítica: implicaciones para la exploración de yacimientos*: *Boletín Geológico Y Minero*, v. 107, p. 65–78.
- Quesada, C., 1998, *A reappraisal of the structure of the Spanish segment of the Iberian Pyrite Belt*: *Mineralium Deposita*, v. 33, p. 31–44.
- Quesada, C., Fonseca, P., Munhá, J., Oliveira, J. T., & Ribeiro, A., 1994, *The Beja-Acebuches Ophiolite (Southern Iberia Variscan fold belt): geological characterization and geodynamic significance*: *Boletín Geológico y Minero*, v. 105, p. 3–49.
- Relvas, J. M. R. S., 1991, *Estudo Geológico e Metalogenético da área de Gavião, Baixo Alentejo*: Universidade de Lisboa: 250 p.
- Relvas, J. M. R. S., Barriga, F. J. A. S., & Longstaffe, F. J., 2006, *Hydrothermal alteration and*

- mineralization in the Neves-Corvo volcanic-hosted massive sulfide deposit, Portugal. II. Oxygen, hydrogen, and carbon isotopes: *Economic Geology*, v. 101, p. 791–804.
- Relvas, J. M. R. S., Barriga, F. J. A. S., Carvalho, J. R. S., Pinto, Á. M. M., Matos, J. X., Rosa, C. J. P., & Pereira, Z., 2011, Structure, stratigraphy and hydrothermal alteration at the Gavião orebodies, Aljustrel: reconstruction of a dismembered ore-forming system at the Iberian Pyrite Belt and implications for exploration: *Let's Talk Ore Deposits*, p. 772-774 pp.
- Ribeiro, A., 1984, Paleozóico - Tectónica, in Oliveira, J. T. ed., *Notícia Explicativa da Folha 7, Carta Geológica de Portugal*, escala 1:20000, p. 28–30.
- Ribeiro, A., & Silva, J. B., 1983, Structure of south portuguese zone: *Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal*, v. 29, p. 91–97.
- Ribeiro, A., Quesada, C., & Dallmeyer, R. D., 1990, Geodynamic evolution of the Iberian Massif, in Dallmeyer, R. D. and Martínez García, E. eds., *PreMesozoic Geology of Iberia*: Springer-Verlag, p. 334–347.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, L., Fonseca, P., Araújo, A., Oliveira, T., Romão, J., Chaminé, H., Coke, C., & Pedro, J., 2007, Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides: *Tectonics*, v. 26, p. 1–24.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Fonseca, P. E., Araújo, A., Pedro, J. C., Mateus, A., Tassinari, C., Machado, G., & Jesus, A., 2010, Variscan ophiolite belts in the Ossa-Morena Zone (Southwest Iberia): Geological characterization and geodynamic significance: *Gondwana Research*, v. 17, p. 408–421.
- Rosa, C. J. P., McPhie, J., Relvas, J. M. R. S., Pereira, Z., Oliveira, T., & Pacheco, N., 2008, Facies analyses and volcanic setting of the giant Neves Corvo massive sulfide deposit, Iberian Pyrite Belt, Portugal: *Mineralium Deposita*, v. 43, p. 449–466.
- Rosa, C. J. P., McPhie, J., & Relvas, J. M. R. S., 2010, Type of volcanoes hosting the massive sulfide deposits of the Iberian Pyrite Belt: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 194, p. 107–126.
- Rosa, D. R. N., Finch, A. A., Andersen, T., & Inverno, C. M. C., 2009, U-Pb geochronology and Hf isotope ratios of magmatic zircons from the Iberian Pyrite Belt: *Mineralogy and Petrology*, v. 95, p. 47–69.
- Routhier, P., Aye, F., Boyer, C., Lecölle, M., Molere, P., Picot, P., & Roger, G., 1980, Le ceinture sud-ibérique a amas sulfures dans sa partie espagnole médiane: 265 p.
- Ryall, W. R., 1979, Mercury distribution in the Woodlawn massive sulfide deposit, New South Wales: *Economic Geology*, v. 74, p. 1471–1484.
- Sáez, R., Pascual, E., Toscano, M., & Almodóvar, G. R., 1999, The Iberian type of volcano-sedimentary massive sulphide deposits: *Mineralium Deposita*, v. 34, p. 549–570.
- Santos, L. M. J., 2020, Caracterização geoquímica, mineralógica, textural e paragenética da alteração hidrotermal e mineralização na massa de Estação (Aljustrel) e sua comparação com a massa de Feitais: Universidade de Lisboa.
- Schermerhorn, I. J. G., & Stanton, W. I., 1969, Folded overthrusts at Aljustrel: *Geological Magazine*, v. 106, p. 130–141.
- Schermerhorn, L. J. G., 1975, Spilites, regional metamorphism and subduction in the Iberian Pyrite Belt: Some comments: *Geologie en Mijnbouw*, v. 54, p. 23–35.

- Schermerhorn, L. J. G., Priem, H. N. A., Boelrijk, N. A. I. M., Hebeda, E. H., Verdurmen, E. A. T., & Verschure, R. H., 1978, Age and Origin of the Messejana Dolerite Fault-Dike System (Portugal and Spain) in the Light of the Opening of the North Atlantic Ocean: *The Journal of Geology*, v. 86, p. 299–309.
- Schermerhorn, L. J. G., Zbyszewski, G., & Ferreira, V., 1987, Carta Geológica 1:50000 42D Aljustrel: SGP, 55 p.
- Silva, J. B., & Pereira, M. F., 2004, Transcurrent continental tectonics model for the Ossa-Morena Zone Neoproterozoic–Paleozoic evolution, SW Iberian Massif, Portugal: *International Journal of Earth Sciences (Geol. Rundsch)*, v. 93, p. 886–896.
- Silva, J. B., Oliveira, J. T., & Ribeiro, A., 1990, South Portuguese Zone. Part VI. Structural Outline, in Dallmeyer, R. D. & Martínez Garcia, E. eds., *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, Springer-Verlag, p. 348–362.
- Strauss, G. K., 1970, Sobre la geología de la provincia piriterifera del SW de la Península Ibérica y sus yacimientos, en especial sobre la mina de Lousal, Portugal: *Memoria del Instituto Geológico y Minero de España*, v. 77, p. 266.
- Thiéblemont, D., Pascual, E., & Stein, G., 1998, Magmatism in the Iberian Pyrite Belt: petrological constraints on a metallogenic model: *Mineralium Deposita*, v. 33, p. 98–110.
- Tornos, F., 2006, Environment of formation and styles of volcanogenic massive sulfides: The Iberian Pyrite Belt: *Ore Geology Reviews*, v. 28, p. 259–307.
- Tornos, F., González Clavijo, E., & Spiro, B., 1998, The filon norte orebody (Tharsis, Iberian Pyrite Belt): A proximal low-temperature shale-hosted massive sulphide in a thin-skinned tectonic belt: *Mineralium Deposita*, v. 33, p. 150–169.
- Tornos, F., Casquet, C., Relvas, J. M. R. S., Barriga, F. J. A. S., & Sáez, R., 2002, The relationship between ore deposits and oblique tectonics: the SW Iberian Variscan Belt: *Geological Society, London, Special Publications*, v. 204, p. 179–198.
- Tornos, F., Solomon, M., Conde, C., & Spiro, B. F., 2008, Formation of the tharsis massive sulfide deposit, Iberian Pyrite Belt: Geological, lithogeochemical, and stable Isotope evidence for deposition in a brine pool: *Economic Geology*, v. 103, p. 185–214.
- Winchester, J. A., & Floyd, P. A., 1977, Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements: *Chemical Geology*, v. 20, p. 325–343.
- Zbyszewski, G., & Andrade, R. F., 1957, Nota preliminar sobre a geologia da região de Aljustrel, in *Assoc. Portuguesa Progresso Cienc.*, 23 Congr. Luso-Espanhol. v. 5, sect. 4, p. 5–13.



## **XI. Anexos**

### **XI.1. Sondagens**

#### *XI.1.1. Resumo descritivo*

##### *XI.1.1.1. GS-18003*

A sondagem GS-18003 que, em profundidade, intersecta a sequência do CVS entre os perfis 7, 8 e 9 definidos pela SMS, inicia-se à superfície, cortando *ca.* de 67.50m de sedimentos de idade terciária. A esta profundidade atinge-se a paleosuperfície de deposição talhada no soco paleozóico.

Até aos 562.55m, a sondagem corta uma sucessão de unidades metavulcanoclásticas do tipo **MS<sub>r</sub>** recorrentemente interrompidas por unidades do tipo **I** sob a forma de intersecções muito espessas e monótonas, fortemente afectadas por alteração sericítico-carbonatada, a qual confere tonalidade bege acastanhada às mesmas.

No intervalo [67.50-135.50]m, as unidades clásticas correspondem a rochas do tipo **qfR**, posteriormente passando a uma sequência maioritariamente do tipo **RB** com pontuais intercalações de **RC** e **RI**. Não raramente, estas unidades metavulcanoclásticas apresentam megacristais de Fsp de grande dimensão (> 1cm), os quais denotam evidências de deformação intensa (intervalos [67.40-135.50]m, [235.25-305.20]m, [342.60-378.40]m e [451.40-515.15]m).

Após os 562.55m, registam-se evidências de alteração clorítica extrema, culminando na substituição quase completa da fácies metavulcanoclástica por agregados de Chl (“cloritito”). O contacto entre o “cloritito” e a unidade metavulcanoclástica a topo é gradual e representa a transição entre duas unidades com afinidades composicionais distintas: **RA** (“cloritito”) e **RB** (metavulcanoclástica). O processo de cloritização é acompanhado por aumento progressivo da quantidade de sulfuretos presentes na rocha, marcando a transição gradual para a lentícula de sulfuretos maciços.

Os sulfuretos maciços correspondem a duas intersecções (584.50 e 615.90m) com, respectivamente, 15.00 e 1.60m de espessura, separadas entre si por uma unidade metavulcanoclástica equivalente às anteriores (**MS<sub>r</sub>**), cuja composição geoquímica manifesta afinidade para com o tipo **RB**. As intersecções correspondem a massas essencialmente piríticas, sob a forma de bandados tectónicos que materializam variações granulométricas de grãos e/ou agregados muito finos de Py >> Sp. A Ccp é largamente subordinada, preenchendo filonetes com reduzida expressão, que cortam os bandados, ou zonas de brechificação. A presença de Gn apenas foi observada na primeira intersecção, sob a forma de raros filonetes de reduzida dimensão, igualmente tardios. Ambos os contactos a muro das intersecções são tectónicos, e os contactos a topo graduais. Relativamente a estes últimos, como já referido anteriormente, o primeiro é marcado por alteração clorítica extrema (“cloritito”), acompanhada de aumento progressivo da quantidade de fases sulfuretadas presentes na rocha; o segundo é sublinhado por incremento gradual da quantidade de sulfuretos disseminados na fácies metavulcanoclástica.

Após as intersecções de sulfuretos maciços, as unidades metapelíticas prevalecem largamente sobre as fácies metavulcanoclásticas e, em geral, correspondem a sucessões pouco espessas (< 20m). As fácies metassedimentares do tipo **MV<sub>c</sub>** preponderam sobre as restantes e caracterizam-se, geralmente, por importante componente siltítica (metassiltitos), contrariamente aos metassedimentos do tipo **MB<sub>c</sub>**, cujas intersecções se encontram confinadas a troços relativamente pouco espessos, caracterizados por importante componente pelítica. As unidades do tipo **MN<sub>c</sub>** e **MC<sub>c</sub>** têm pouca expressão e são, tendencialmente, pelíticas. A muro destas fácies metassedimentares regista-se a presença de jaspe, posteriormente brechificado e cimentado por Qz [809.00-810.00]m, em contacto gradual com fácies metavulcanoclástica tipo **RB**.

As escassas intercalações de unidades metavulcanoclásticas na sucessão siliciclástica correspondem maioritariamente a unidades composicionalmente afins do tipo **RB** e, mais raramente, **RC**, e todas registam evidências de alteração que confere tonalidade avermelhada à matriz, por vezes com sinal magnético associado.

No que respeita às transições entre diferentes sectores, observam-se maioritariamente contactos de natureza tectónica e, mais raramente, intrusivos ou erosivos, quando associados a fácies intrusivas e metapelíticas.

Para além das lentículas de sulfuretos maciços intersectadas, a presença de sulfuretos é comum ao longo da sondagem. Contudo, importa salientar os intervalos [162.80-163.15]m e [163.60-163.90]m onde fácies metavulcanoclásticas de afinidade **RB**, registam pequenas intersecções de níveis ricos em Py + Sp >> Ccp ± Po, possivelmente documentando domínios de maior permeabilidade.

#### XI.1.1.2. GS-18004

A sondagem GS-18004 que, em profundidade, intersecta a sequência do CVS entre os perfis 8 e 10 definidos pela SMS., inicia-se à superfície, cortando *ca.* de 60.10m de sedimentos de idade terciária. A esta profundidade atinge-se a paleosuperfície de deposição, a qual se estabelece sobre o soco paleozóico. Até aos 154.65m, a sondagem é largamente dominada por unidades metassedimentares, em geral pouco espessas, registando-se apenas um troço (intervalo [100.85-109.90]m) de natureza metavulcanoclástica do tipo **MS<sub>qr</sub>**, composicionalmente afim do tipo **RB**. As unidades metassedimentares correspondem a fácies do tipo **MV<sub>c</sub>** e, mais raramente, **MB<sub>c</sub>**, **MC<sub>c</sub>** e **MN**, em geral separadas por contactos de natureza tectónica. Embora a fracção psamítica destas unidades seja, regra geral, dominante, a componente pelítica pode ser localmente significativa.

Após os 154.65m, a sondagem é dominada por sequências metavulcânicas *s.l.*, as quais são, pontualmente, cortadas por unidades do tipo **I**, ou encontram-se intercaladas com raras unidades metapelíticas de cor negra e, mais raramente, de cor cinzenta. As unidades metavulcânicas registam importantes variações texturais, observando-se fácies lávicas e várias fácies clásticas com diferentes graus de retrabalhamento sedimentar.

Considerando as assinaturas químicas das unidades vulcânicas, identificam-se três troços distintos: [154.65-350.05]m, [350.05-844.50]m e [844.50-1010.10]m. No primeiro troço prevalecem unidades composicionalmente afins do tipo **qfR**, pontualmente intercaladas com **RB**. No segundo troço, as fácies metavulcânicas *s.l.* quimicamente afins de **RB** dominam, apesar das comuns intercalações do tipo **RI** e **RC**, ou alternâncias metassedimentares do tipo **MV<sub>c</sub>** e, mais raramente, **MC<sub>c</sub>**, ou intersecções do tipo **I**. As fácies félsicas ocorrem sob a forma de sectores com espessura muito variável (desde poucos cm a dezenas de metros), repetidas por meio de dobramentos (de diferentes ordens) ou justapostas por zonas de falha (laminação tectónica), resultando num complexo padrão estrutural. As fácies intrusivas desenvolvem intersecções espessas e monótonas, geralmente afectadas por alteração sericítico-carbonatada. O terceiro troço consiste em alternâncias de unidades composicionalmente afins dos tipos **RB** e **RC**.

As fácies lávicas correspondem a intersecções com espessura inferior a 14.65m de fácies do tipo **M<sub>qr</sub>**, **M<sub>q</sub>**, **M<sub>r</sub>**, ou **M**, estas últimas assinalando tipicamente domínios de brechificação *in situ*. Do ponto de vista textural e mineralógico, as unidades metavulcanoclásticas félsicas correspondem a fácies do tipo **CC**, **CS** e **MS**, com fenocristais e mineraloclastos de Qz e/ou Fsp, de dimensão variável (2 a 5 mm).

Ao longo da sondagem, verifica-se que as intersecções lávicas tendem a ser bordejadas, a topo e a muro, por fácies progressivamente menos competentes. Um aspecto particular da sondagem prende-se com a organização das fácies metavulcânicas *s.l.* intersectadas. Do topo para a base, dominam, respectivamente, unidades com fenocristais e/ou mineraloclastos de Qz + Fsp, unidades com fenocristais e/ou mineraloclastos de Qz, e unidades com fenocristais e/ou mineraloclastos de Fsp. Localmente, estas rochas preservam efeitos significativos de metassomatismo alcalino ante-deformação, marcado pelo desenvolvimento de megacristais de Fsp de grande dimensão; salienta-se o intervalo [311.45-321.25]m, onde estes atingem os 5cm.

Na sondagem GS-18004, a espessura das três intersecções de sulfuretos maciços cifra-se em, respectivamente, do topo para a base, 5.30m, 6.20m e 4.15m. A massa intersectada no intervalo [708.00-

713.30]m regista, a topo, evidências de impregnação progressiva da fácies **CC<sub>qf</sub>** (composicionalmente afim do tipo **RB**), marcada por incremento gradual da quantidade de Py presente na rocha, conduzindo à obliteração da sua textura original. A intersecção caracteriza-se por grãos e/ou agregados finos de essencialmente Py sob a forma de bandados (possivelmente primários), cortados por pequenos filonetes tardios de Sp e, posteriormente, por descontinuidades preenchidas pela associação Cb + Ccp (o primeiro evidenciando texturas de deposição em espaço aberto). Regista-se ainda tectonização significativa, sendo possível observar brechificação local dos bandados piríticos. O contacto inferior corresponde a um corredor tectónico, possivelmente responsável pela génese do tectonito imediatamente a muro. A segunda intersecção de sulfuretos maciços, [766.00-772.20]m, é equivalente à anteriormente descrita, não obstante a presença de quantidades apreciáveis de Sp ± Ccp sob a forma de alinhamentos paralelos a sub-paralelos aos bandados. Esta intersecção é afectada por descontinuidades estruturais localizadas, as quais resultam localmente em brechificação da lentícula pirítica. Ambos os contactos, a topo e a muro, são tectónicos, marcados por descontinuidades preenchidas por Qz ± Fsp ± Chl, e preservando evidências de vários eventos de movimentação, o último dos quais com brechificação associada. A massa de sulfuretos intersectada no intervalo [783.60 – 787.75]m, contrariamente às anteriormente descritas, regista a presença de abundante Sp, Gn e Ccp, desenvolvendo bandas alternadas que se individualizam com base na granulometria da Py e na abundância relativa das fases minerais constituintes. Também nesta massa se observa a presença de descontinuidades estruturais (mm) que afectam os bandados, gerando contactos abruptos ou, localmente, zonas de (micro)brechificação. Tal como visto anteriormente, ambos os contactos, a topo e a muro, aparentam ser tectónicos, sendo o segundo marcado por uma descontinuidade selada por Qz + Fsp + Chl, com possível movimentação associada. Os sectores a topo e a muro destas intersecções são marcados pela presença de unidades metavulcanoclásticas félsicas, quimicamente correlacionáveis com o tipo **RB**, exceptuando o contacto a muro da primeira intersecção, o qual corresponde, como já referido, a um tectonito.

De forma geral, os contactos associados às sequências metavulcânicas são maioritariamente graduais, não obstante os numerosos contactos de natureza tectónica, marcados por zonas de falha.

Tanto as fácies do tipo **I**, como as intercalações de fácies metapelíticas, registam, a topo e/ou a muro, contactos tectónicos. Associados, ainda, às unidades intrusivas observam-se raros contactos intrusivos, ocasionalmente preservando características interpretáveis como margens de arrefecimento associadas.

Para além das lentículas de sulfuretos maciços intersectadas, a presença de fases sulfuretadas é comum ao longo da sondagem. Contudo, importa salientar os troços [443.25-454.00]m e [729.75-742.60]m, onde se observam evidências de processos algo penetrativos de (possível) substituição (por Py essencialmente), responsáveis pela obliteração quase completa da textura original das fácies clásticas hospedeiras. Relativamente às “assinaturas” químicas, o primeiro troço revela afinidade para com o tipo **RI**, enquanto o segundo manifesta similaridades para com o tipo **RB**.

#### XI.1.1.3. GS-18005A

A sondagem GS-18005A que, em profundidade, intersecta o domínio entre os perfis 9 e 10, definidos pela SMS, inicia-se à superfície, cortando *ca.* de 74.50m de sedimentos de idade terciária. A esta profundidade registam-se evidências de um acidente tectónico (5.10m) com orientação próxima de NW-SE, a muro do qual se intersecta a primeira unidade coerente (79.60m), tendo sido definida como início do soco paleozóico. Até aos 453.60m, a sondagem caracteriza-se por uma sucessão de fácies metavulcânicas *s.l.* de natureza félsica, geralmente pouco espessas, as quais são cortadas, no intervalo [155.15-370.60]m, por abundantes corpos intrusivos com assinatura geoquímica afim do tipo **I**.

As unidades metavulcânicas registam importantes variações texturais, tendo sido intersectadas desde fácies lávicas a fácies clásticas com diferentes graus de retrabalhamento sedimentar. As unidades lávicas correspondem a intersecções geralmente pouco espessas (máx = 14.25m) de fácies do tipo **M<sub>r</sub>** e, mais

raramente do tipo **M** com textura vacuolar. As unidades metavulcanoclásticas correspondem a rochas félsicas do tipo **CC<sub>f</sub>**, **CC<sub>qt</sub>**, **CS<sub>f</sub>**, **CS<sub>qt</sub>**, **MS<sub>f</sub>**, **MS<sub>qt</sub>** e, mais raramente, **CC<sub>q</sub>**, **CS<sub>q</sub>** e **MS<sub>q</sub>**.

Em termos litogeoquímicos, a maioria das fácies félsicas revelam forte afinidade com o tipo **RB**, registrando intercalações locais composicionalmente afins de **qfR** e **RA**, e mais raramente **RC**. É de salientar que estas rochas apresentam evidências localizadas de metassomatismo alcalino ante-deformação, marcado pela génese de megacristais de Fsp de grande dimensão, como é exemplo o intervalo [79.60-114.40]m, onde estes atingem *ca.* de 2cm. Os contactos entre as diferentes unidades félsicas intersectadas são, essencialmente, graduais e, mais raramente, de natureza tectónica.

As unidades do tipo **I** configuram intersecções monótonas, de espessura variável (entre 3.35m e 71.20m), marcadas a topo e a muro por contactos tectónicos ou intrusivos, por vezes com brechificação e/ou margens de arrefecimento associadas. Nos intervalos [167.10-169.00]m e [175.90-181.45]m, observam-se níveis siliciosos micro- a cripto-cristalinos, representando fácies quimiogénicas (chertes *s.l.*) ou precipitados hidrotermais, preservados no seio de rochas intrusivas equivalentes às anteriormente descritas. Estes níveis incluem fases minerais de natureza indeterminada com tonalidades vermelha, laranja e esverdeada, cuja deposição é controlada por micro-fracturação.

Não obstante a presença comum de fases sulfuretadas ao longo da sondagem, não se intersectaram verdadeiras lenticulas de sulfuretos maciços. No intervalo [410.55-437.20]m, as fácies **M<sub>f</sub>**, **CS<sub>f</sub>** e **MS<sub>f</sub>** revelam disseminação intensa de grãos e/ou agregados muito finos de, essencialmente, Py, resultando na obliteração parcial da textura da rocha lávica e quase completa das fácies clásticas. A presença de sulfuretos é particularmente abundante no intervalo [434.40-437.20]m, assemelhando-se a ocorrências sulfuretadas (semi-)maciças. Neste local, observam-se bandados que traduzem alternâncias granulométricas de Py ± Qz. A presença de Sp associa-se a alinhamentos finos que acompanham a orientação dos bandados, e a Ccp a zonas de brechificação local ou a descontinuidades tardias preenchidas por Qz. Relíquias de material metassedimentar (metapelito negro) preservadas no seio da massa sulfuretada são também comuns. Relativamente à composição química das fácies vulcânicas hospedeiras, registam-se unidades com afinidade para com o tipo **RB** e, posteriormente, **qfR**, embora o contacto entre ambas não tenha sido observado. O contacto inferior deste domínio é sublinhado por uma zona de falha com intensa tectonização associada, após o qual a sequência vulcânica é retomada.

Após os 453.60m, a sondagem intersecta exclusivamente unidades metassedimentares, sob a forma de sucessões pouco espessas (máx. = 12.30m) do tipo **MN<sub>c</sub>** e **MC<sub>c</sub>** com importante componente psamítica (metassiltitos), intercaladas entre si por meio de contactos maioritariamente tectónicos.

#### XI.1.1.4. GS-19001

A sondagem GS-19001 que, em profundidade, intersecta o domínio entre os perfis 9 e 10, definidos pela SMS, inicia-se à superfície, cortando *ca.* de 75.00m de sedimentos de idade terciária. A esta profundidade atinge-se a paleosuperfície de deposição que se desenvolve sobre o soco paleozóico. Até aos 489.45m, a sondagem caracteriza-se por uma sucessão de fácies metavulcânicas *s.l.* de natureza félsica, com espessura muito variável (desde poucos metros até 40.75m), pontualmente intercaladas com unidades metapelíticas do tipo **MN<sub>c</sub>** ou cortadas por unidades intrusivas do tipo **I**.

As unidades metavulcânicas registam importantes variações texturais, tendo sido intersectadas desde fácies maciças (lavas) a fácies clásticas com diferentes graus de retrabalhamento sedimentar.

As unidades lávicas correspondem a intersecções geralmente pouco espessas (máx = 10.05 m) de fácies do tipo **M<sub>f</sub>** e, mais raramente do tipo **M** com textura vacuolar. As unidades metavulcanoclásticas correspondem a rochas félsicas do tipo **MS<sub>f</sub>** e **MS<sub>qt</sub>** e, mais raramente, **CC<sub>f</sub>**, **CS<sub>qt</sub>** e **MS<sub>q</sub>**. Quimicamente, a maioria destas unidades manifesta afinidade para com o tipo **RB**, localmente intercaladas com **RC** e **qfR**. As fácies composicionalmente similares ao tipo **RC** apenas são intersectadas no segmento mais superficial da sondagem, contrariamente às **qfR**, que ocorrem apenas a maior profundidade. Localmente, estas unidades félsicas registam evidências de metassomatismo alcalino, marcado pelo



desenvolvimento de megacristais de Fsp de grande dimensão (> 1cm), como é exemplo o troço [355.00-370.35]m. No intervalo [155.90 – 159.20]m regista-se, ainda, a presença de uma unidade metavulcanoclástica de natureza intermédia (**CS<sub>fr</sub>**), cuja composição geoquímica revela afinidade para com o tipo **RI**. Esta unidade litológica encontra-se delimitada, tanto a topo como a muro, por contactos tectónicos, marcados por zonas de falha com importante cataclase e brechificação.

Os contactos entre as diferentes unidades félsicas intersectadas são maioritariamente tectónicos e mais raramente graduais, destacando-se a preservação esporádica de contactos de natureza erosiva, quando associados a unidades metapelíticas adjacentes.

Na sondagem GS-19001 registam-se três intersecções de unidades do tipo **I**, sob a forma de segmentos monótonos com espessura variável (desde 9.70 a 42.20m) e contactos, a topo e a muro, maioritariamente tectónicos.

As unidades metassedimentares intersectadas ocorrem sob a forma de sucessões pouco espessas que, geralmente, apresentam importante componente siltítica.

Após os 441.65m, a sondagem intersecta uma unidade do tipo **MS<sub>r</sub>**, quimicamente equivalente ao tipo **RB**. Esta unidade preserva efeitos de intensa deformação heterogénea (incluindo forte crenulação da foliação), sendo cortada por abundantes corredores tectónicos. Com o aumento da profundidade, registam-se incrementos significativos (ainda que graduais) de fases sulfuretadas (maioritariamente Py) sob a forma de grãos e/ou agregados de muito reduzida dimensão. O contacto inferior desta unidade é marcado por um importante corredor tectónico, a muro do qual se desenvolve uma pequena massa de sulfuretos (2.05m de espessura). Esta massa é caracterizada pela presença de grãos e/ou agregados muito finos de Py ± Sp, sob a forma de bandados tectónicos que registam variações granulométricas subtis entre bandas. A presença de Sp é igualmente observável sob a forma de filonetes (mm) que cortam o bandado. Localmente, o bandado é ainda cortado por estruturas (mm) de Qz + Cb, este último denunciando texturas de deposição em espaço aberto, e ao qual se associa Ccp. O contacto inferior deste troço corresponde novamente a um importante corredor tectónico, assinalando a transição para rochas metavulcanoclásticas félsicas intercaladas com metapelitos do tipo **MN<sub>c</sub>**. A muro deste troço (455.50m) regista-se a presença de uma segunda intersecção de sulfuretos maciços (9.75m de espessura). De forma geral, a lentícula é idêntica à anterior, embora se assinale a presença de Ccp na matriz sulfuretada bandada. O troço a muro da segunda massa sulfuretada marca o fim da sondagem, sendo caracterizado por novo corredor tectónico; destacam-se passagens (cm) de diferentes fácies metavulcânicas *s.l.*, finamente intercaladas por meio de numerosas falhas, todas elas impregnadas de grãos e/ou agregados extremamente finos de fases sulfuretadas. Note-se que, neste sector, se seleccionaram para amostragem geoquímica os troços melhor preservados. Assim sendo, embora se assinale uma correspondência geral para com unidades afins de **qfR**, tal deve-se ao limitado número de análises com FRX-P aqui realizadas; *i.e.*, a variedade de fácies observada pode não ter sido devidamente avaliada durante a amostragem geoquímica.

### XI.1.2. Localização e informação espacial

**Tabela XI.1** – Localização espacial da boca do furo das sondagens seleccionadas para estudo, nos sistemas Datum Lisboa Hayford Gauss IGeoE e Datum ETRS89 Portugal TM06, bem como respectiva informação referente à elevação, azimute e inclinação reais, metragem e recuperação totais.

Coordenadas (D+ Lisboa Hayford Gauss IGeoE)	X	GS-18003	GS-18004	GS-18005A	GS-19001
	Y	193230.15	193235.65	193003.76	193057.77
Coordenadas (D+ ETRS89 Portugal TM06)	X	101086.71	101304.80	101084.45	101057.55
	Y	-6769.12	-6759.27	-6993.45	-6941.72
Elevação (m)		-198912.40	-198689.12	-198914.32	-198943.34
Azimute Real (°)		114.000	101.569	126.419	125.737
Inclinação Real (°)		207.00	204.68	225.00	218.42
Metragem Total (m)		-70.4	-72.3	-73.0	-73.0
Recuperação Total (%)		852.90	1010.10	507.55	484.20
		97.30	93.93	97.03	95.97

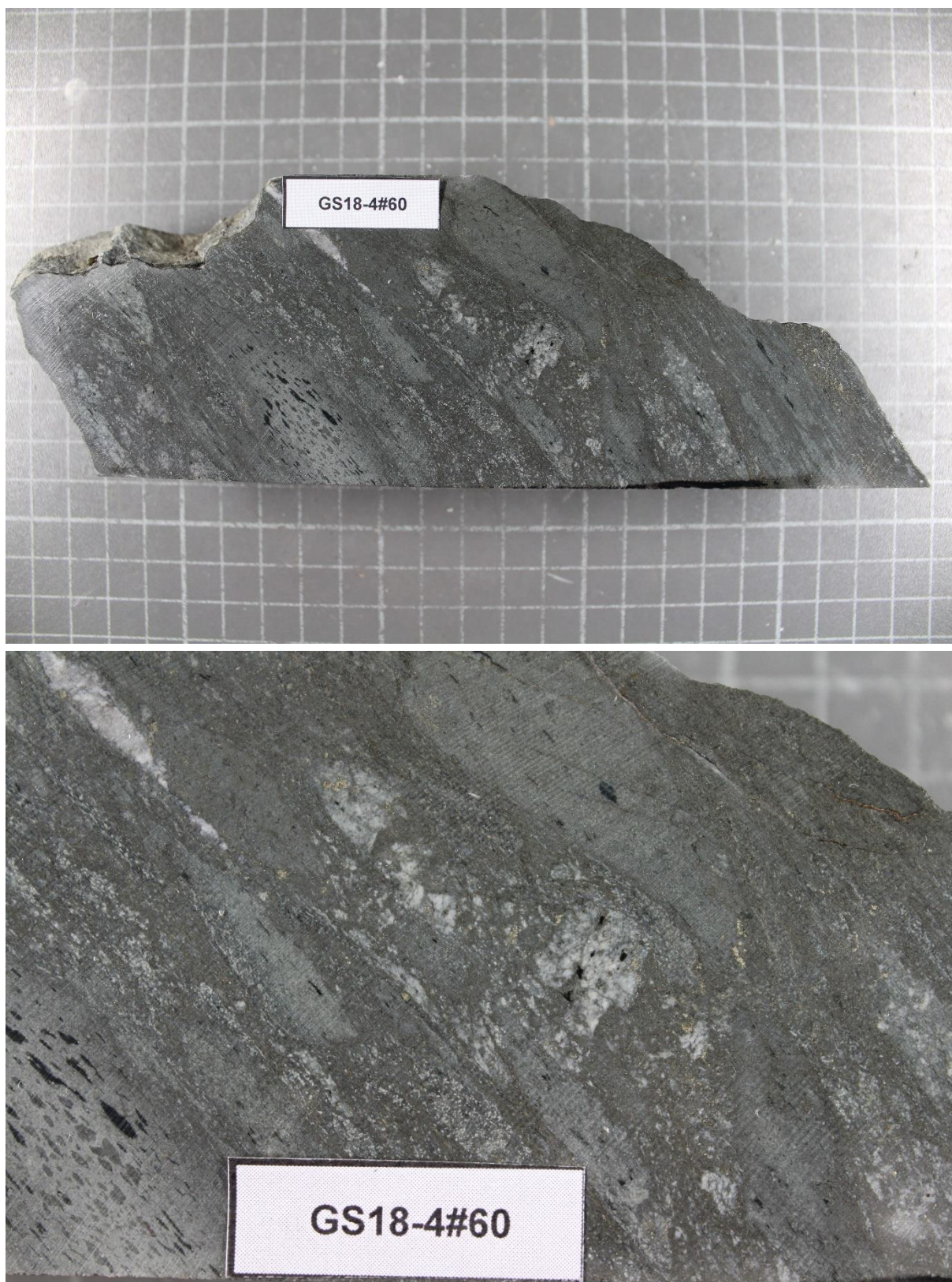
### XI.1.3. Amostragem

**Tabela XI.2** – Composição reportada da liga metálica de aço inoxidável 316 (316 *Stainless Steel* – 316 SS) e valores médios das leituras obtidas durante a calibração (n=18) do equipamento *Olympus Vanta C Series*, utilizado na aquisição de dados de fluorescência de raio-X portátil

	316 SS (%)	Média (%)	Diferença (%)	%RSD
Si	1,000	0,584	-0,416	10,200
Al	0,000	2,347	2,347	5,480
Fe	65,345	62,156	-3,189	0,860
Mg	0,000	4,558	4,558	16,550
K	0,000	0,847	0,847	3,280
Ca	0,000	0,129	0,129	3,340
Mn	2,000	2,022	0,022	1,320
P	0,045	0,090	0,045	8,820
S	0,030	1,160	1,130	4,340
Cr	17,000	14,763	-2,237	0,620
V	0,000	0,030	0,030	8,560
Ni	12,000	8,784	-3,216	1,370
Cu	0,000	0,464	0,464	2,740
Mo	2,500	1,875	-0,625	1,370
W	0,000	0,110	0,110	5,460
TOTAL	99,920	99,919	-0,001	-

**Tabela XI. 3** – Informação sobre sondagem, profundidade, classificações macroscópica e química, com respectiva referência, relativa aos exemplares seleccionados para estudos de mineralogia e geoquímica.

	Exemplar	Sondagem	Prof. (m)	Classificação		Referência
				Macroscópica	XRF Portátil	Lâmina
Fácies Metavulcânicas <i>s.l.</i>	GS18-3#51	GS-18003	576.50	MS <sub>f</sub>	RA	18-3#51
	GS18-3#53	GS-18003	581.70	MS <sub>f</sub>	RA	18-3#53
	GS18-3#54	GS-18003	583.70	MS <sub>f</sub>	RA	18-3#54a 18-3#54b
	GS18-5A#28	GS-18005A	262.50	MS <sub>qf</sub>	RA	18-5A#28
	GS18-3#90	GS-18003	823.00	MS <sub>f</sub>	RB	18-3#90
	GS18-4#72	GS-18004	514.40	M <sub>qf</sub> *	RB	18-4#72
	GS18-4#97	GS-18004	565.70	MS <sub>f</sub>	RB	18-4#97
	GS18-4#113	GS-18004	650.10	MS <sub>f</sub> **	RB	18-4#113
	GS18-4#114	GS-18004	655.40	MS <sub>f</sub> **	RB	18-4#114
	GS18-4#167	GS-18004	855.20	MS <sub>f</sub> **	RB	18-4#167
	GS19-1#8	GS-19001	127.30	M <sub>f</sub>	RB	19-1#8
	GS19-1#21	GS-19001	218.30	CC <sub>qf</sub>	RB	19-1#21
	GS19-1#56	GS-19001	452.30	MS <sub>f</sub>	RB	19-1#56
	GS18-3#21	GS-18003	274.20	MS <sub>f</sub> **	RC	18-3#21a 18-3#21b
	GS18-3#63	GS-18003	626.70	MS <sub>f</sub>	RC	18-3#63
	GS18-4#62	GS-18004	466.30	CS <sub>ff</sub> *	RI	18-4#62
	GS18-4#64	GS-18004	475.10	CS <sub>ff</sub> *	RI	18-4#64
	GS18-3#2	GS-18003	120.20	MS <sub>qf</sub> **	qfR	18-3#2
	GS18-4#45	GS-18004	329.30	CS <sub>qf</sub> **	qfR	18-4#45
	GS18-4#86	GS-18004	553.35	M	qfR	18-4#86
	GS18-5A#40	GS-18005A	388.40	M	qfR	18-5A#40
	GS18-5A#55	GS-18005A	449.30	MS <sub>q</sub>	qfR	18-5A#55
	GS19-1#47	GS-19001	397.00	M	qfR	19-1#47
Fácies Intrusivas	GS18-3#17	GS-18003	200.00	I	I	18-3#17a 18-3#17b
	GS18-5A#32	GS-18005A	334.90	I	I	18-5A#32
	GS19-1#33	GS-19001	273.80	I	I	19-1#33a 19-1#33b
Fácies Metapelíticas	GS18-3#77	GS-18003	717.90	MB <sub>c</sub>	-	18-3#77
	GS18-4#156	GS-18004	807.00	MV <sub>c</sub>	-	18-4#156
	GS19-1#44	GS-19001	391.80	MN	-	19-1#44
Fácies Quimiogénicas e Preenchimentos Hidrotermais	GS18-3#87	GS-18003	809.20	JSP	-	18-3#87
	GS18-4#138	GS-18004	751.20	PH	-	18-4#138
	GS18-5A#14	GS-18005A	168.50	CH	-	18-5A#14a 18-5A#14b
	GS18-5A#17	GS-18005A	178.60	PH	-	18-5A#17
	GS19-1#13	GS-19001	179.75	CH	-	19-1#13
Minérios	GS18-3#13	GS-18003	162.90	MS <sub>f</sub> *	RB	18-3#13
	GS18-3#56	GS-18003	586.00	Sulf. Maciço	-	18-3#56
	GS18-4#128	GS-18004	710.20	Sulf. Maciço	-	18-4#128
	GS18-4#142	GS-18004	767.40	Sulf. Maciço	-	18-4#142
	GS18-4#144	GS-18004	770.60	Sulf. Maciço	-	18-4#144
	GS18-5A#50	GS-18005A	435.60	Sulf. Maciço	-	18-5A#50
	GS18-5A#51	GS-18005A	436.10	Sulf. Maciço	-	18-5A#51
	GS19-1#62	GS-19001	459.50	Sulf. Maciço	-	- 19-1#63



**Figura XI.1** – Exemplar de fácies “química” **RI** mineralizado (amostra GS18-4#60). A malha representa 1 cm.



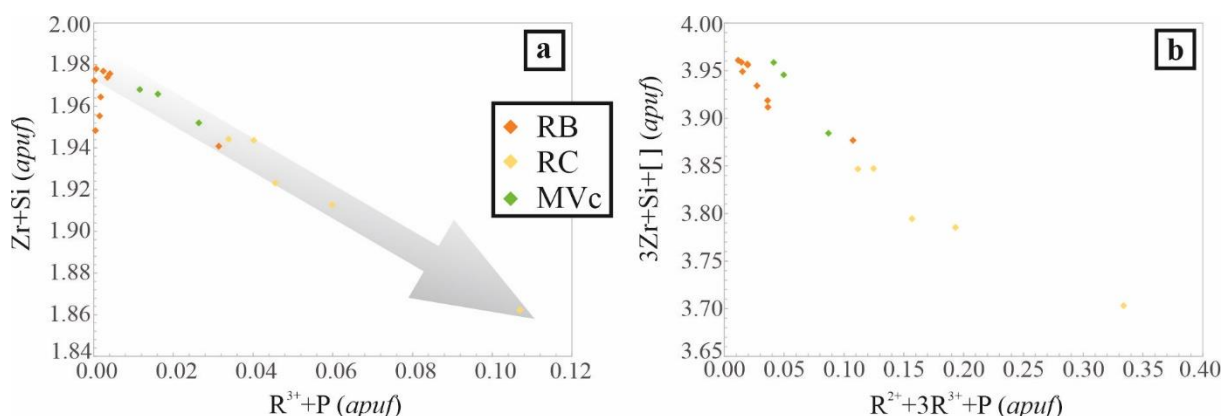
## XI.2. Química mineral

### XI.2.1. Caracterização de fases primárias

#### XI.2.1.1. Zircão

O zircão é uma fase acessória comum nas fácies metavulcânicas *s.l.* e metassedimentares. Tipicamente, ocorre sob a forma de grãos subédricos de dimensão reduzida (muitas vezes não resolúveis à escala microscópica) dispersos na matriz ou associados a agregados de Ap + Ttn + Mnz + óxidos de Fe e Ti e, mais raramente, inclusos em fenocristais de Fsp. Com o objectivo de estudar a variabilidade composicional que caracteriza esta fase, obtiveram-se 17 análises quantitativas com erro inferior a 2%, representativas de diferentes fácies.

A composição ideal do zircão é dada através da fórmula  $\text{ZrSiO}_4$ . Porém, esta fase regista usualmente desvios resultantes da incorporação de diferentes catiões. Para a maioria das análises obtidas, os desvios à composição ideal são marcados pela introdução de (i) quantidade reduzidas de catiões tetravalentes na posição do  $\text{Zr}^{4+}$  através de substituição simples; ou (ii) catiões trivalentes (essencialmente  $\text{Fe}^{3+}$ ) na posição do  $\text{Zr}^{4+}$ , compensados pela introdução de  $\text{P}^{5+}$  na posição do  $\text{Si}^{4+}$  (**Figura VI.6a**). Porém, e em particular para as análises da fácies “química” RB, estes mecanismos não são suficientes para explicar a totalidade dos desvios, sendo igualmente necessário considerar a incorporação de quantidades traço de catiões divalentes e a possibilidade de ocupação de vazios na posição do  $\text{Zr}^{4+}$ . Assim, na **Figura VI.6b**, é considerado o vector de substituição conjugado que contempla catiões  $\text{R}^{3+}$  e  $\text{R}^{2+}$  na posição do  $\text{Zr}^{4+}$ .



**Figura XI.2.** – (a) Projecção do vector que descreve a incorporação de catiões trivalentes na posição do Zr, compensada pela introdução de P na posição do Si. (b) Projecção do vector que descreve a conjugação do mecanismo de substituição anterior com a entrada de catiões divalentes na posição do Zr, considerando igualmente a ocupação de vazios.

Desta forma, as composições médias ( $n < 10$ ) obtidas para os diferentes grupos de zircão podem ser expressas da seguinte forma:

RB ( $n=9$ ):  $(\text{Zr}_{0.964}\text{Hf}_{0.012}\text{Fe}^{3+}_{0.004})(\text{Si}_{1.001}\text{P}_{0.014})\text{O}_4$

RC ( $n=5$ ):  $(\text{Zr}_{0.935}\text{Hf}_{0.012}\text{Fe}^{3+}_{0.054})(\text{Si}_{0.982}\text{P}_{0.007})\text{O}_4$

MVc ( $n=3$ ):  $(\text{Zr}_{0.961}\text{Hf}_{0.014}\text{Fe}^{3+}_{0.017})(\text{Si}_{1.001}\text{P}_{0.004})\text{O}_4$

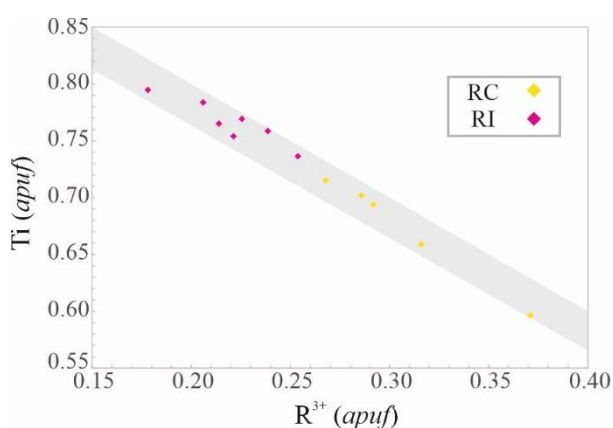
### XI.2.1.2. Titanite

Apesar da titanite ser uma fase acessória comum nas fácies metavulcânicas *s.l.*, intrusivas e metassedimentares estudadas, a sua presença é particularmente abundante nos exemplares da fácies “química” **RI** onde acompanha a associação secundária Chl + Cb + Ep. No sentido de estudar a sua variabilidade composicional obtiveram-se 12 análises quantitativas com erro inferior a 2% em exemplares metavulcanoclásticos das fácies “químicas” **RI** e **RC**. O exíguo número de análises deve-se à fina granularidade da Ttn, com frequência manifestando também intensa alteração.

A fórmula química desta fase mineral é expressa através de  $\text{CaTiSiO}_4(\text{O},\text{OH},\text{F})$ , contemplando soluções sólidas entre este termo e o termo aluminoso,  $\text{CaAlFSiO}_5$ . De forma geral, os desvios à composição ideal apresentados pelas análises podem ser descritos com recurso a uma substituição simples entre o Ti e quantidades traço de cátions tetravalentes (*e.g.* Zr), ou através da introdução de cátions trivalentes na posição do Ti, em particular Al e Fe, a qual é compensada pela substituição parcial de O por F (**Figura VI.7**). Para além dos mecanismos de substituição que envolvem a posição do Ti, as análises obtidas para a fácies “química” **RI** registam igualmente substituição parcial do Ca por Mg. As composições médias ( $n < 10$ ) das análises obtidas para as duas fácies podem ser expressas da seguinte forma:

RI ( $n=7$ ):  $(\text{Ca}_{0.952}\text{Mg}_{0.050})(\text{Ti}_{0.764}\text{Al}_{0.192}\text{Fe}^{3+}_{0.023})\text{Si}_{1.003}\text{O}_4\text{F}_{0.082}$

RC ( $n=5$ ):  $(\text{Ca}_{1.004}\text{Mg}_{0.002})(\text{Ti}_{0.668}\text{Al}_{0.294}\text{Fe}^{3+}_{0.005})\text{Si}_{1.006}\text{O}_4\text{F}_{0.228}$



**Figura XI.3** – Projecção do vector de substituição que descreve a entrada de trivalentes (*e.g.*  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) na posição do Ti.

### *XI.2.2. Condições de análise*

**Tabela XI.4** – Padrões analíticos referentes às análises de feldspato.

<b><i>Feldspatos</i></b>			
<b>Elemento</b>	<b>Risca analítica</b>	<b>Cristais analisadores e detector</b>	<b>Padrões</b>
Ca	Ka	PET J	Diopside
Na	Ka	TAP	Tugtupide
Sr	La	PET J	Celestite
Si	Ka	PETH	Sanidine
Ba	La	PET J	Benitoite
Mg	Ka	TAP	Olivine
Ti	Ka	PET J	Rutile
K	Ka	PETH	Sanidine
Mn	Ka	PET J	Bustamite
Al	Ka	TAP	Pyrope
Fe	Ka	LIFH	Almandine

**Tabela XI.5** – Padrões analíticos referentes às análises de mica branca e stilpnomelano.

<b><i>Micas e Stilpnomelano</i></b>			
<b>Elemento</b>	<b>Risca analítica</b>	<b>Cristais analisadores e detector</b>	<b>Padrões</b>
C	Ka	PET J	Diopside
Si	Ka	PET J	Olivine
Rb	La	PETH	CAL.STD
Ti	Ka	PET J	Rutile
Na	Ka	TAP	Jadeite
K	Ka	PETH	Sanidine
Cr	Ka	PET J	Chromium Oxide
Mg	Ka	TAP	Chlorite
Cs	La	PET J	Pollucite
Ba	La	LIFH	Barite
Mn	Ka	PET J	Bustamite
Al	Ka	TAP	Almandine
Ni	Ka	LIF	Nickel Silicide
Fe	Ka	LIFH	Kaersutite
Fe	Ka	TAP	Fluorite
Cl	Ka	PET J	Tugtupide

**Tabela XI.6** – Padrões analíticos referentes às análises de clorite.

<i>Clorites</i>			
<b>Elemento</b>	<b>Risca analítica</b>	<b>Cristais analisadores e detector</b>	<b>Padrões</b>
Ti	Ka	PET J	Rutile
Fe	Ka	TAP	Fluorite
Ca	Ka	PET J	Bustamite
Si	Ka	PETH	Pyrope
Cr	Ka	PET J	Chromium Oxide
Na	Ka	TAP	Jadeite
Cs	La	PET J	Pollucite
K	Ka	PETH	Sanidine
Mn	Ka	PET J	Bustamite
Mg	Ka	TAP	Chlorite
Zn	Ka	LIF	Sphalerite
Fe	Ka	LIFH	Almandine
Al	Ka	TAP	Chlorite
Ni	Ka	LIF	Nickel Sulfide
Ba	La	LIFH	Benitoite



**Tabela XI.7** – Padrões analíticos referentes às análises de epidoto.

<i>Epidotos</i>			
Elemento	Risca analítica	Cristais analisadores e detector	Padrões
Zn	Ka	LIF	Sphalerite
Ta	La	LIF	LiTaO <sub>3</sub>
Nd	La	LIF	REE 6
Sm	La	LIF	-
Pr	Lb	LIF	-
Si	Ka	TAP	Bustamite
Mg	Ka	TAP	Diopside
Na	Ka	TAP	Jadeite
F	Ka	TAP	Apatite
Al	Ka	TAP	-
Mn	Ka	PET J	Bustamite
Ce	La	PET J	Monazite
La	La	PET J	Monazite
Ti	Ka	PET J	Rutile
Ca	Ka	PET J	Bustamite
Nb	La	PET J	LiNbO <sub>3</sub>
Fe	Ka	LIFH	Haematite
Cr	Ka	LIFH	Crocoite
V	Ka	LIFH	V
Ba	La	LIFH	Benitoite
Th	Ma	PETH	Monazite
Zr	La	PETH	Zirconia

**Tabela XI.8** – Padrões analíticos referentes às análises de zircão.

<b>Zircão</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Risca analítica</b>	<b>Cristais analisadores e detector</b>	<b>Padrões</b>
La	La	PET J	Monazite
Ca	Ka	PET J	Apatite
Ti	Ka	PET J	-
Al	Ka	TAP	Almandine
Mg	Ka	TAP	Periclase
F	Ka	TAP	-
Zr	La	TAP	-
Ce	La	LIF	Monazite
Th	Ma	PET J	Monazite
P	Ka	PET J	Apatite
Fe	Ka	LIFH	Almandine
Nd	La	LIFH	REE 6
Hf	La	LIFH	Pyrope
Si	Ka	PETH	-

**Tabela XI.9** – Padrões analíticos referentes às análises de titanite.

<i>Titanite</i>			
Elemento	Risca analítica	Cristais analisadores e detector	Padrões
Ta	La	LIF	LiTaO <sub>3</sub>
Sm	La	LIF	REE 2
Pr	Lb	LIF	Monazite
Nd	La	LIF	REE 6
Ce	La	LIF	Monazite
Si	Ka	TAP	Bustamite
Al	Ka	TAP	Plagioclase
Mg	Ka	TAP	Periclase
Na	Ka	TAP	Jadeite
F	Ka	TAP	-
Mn	Ka	PET J	Bustamite
La	La	PET J	Monazite
Ti	Ka	PET J	Rutile
Ca	Ka	PET J	Diopside
Nb	La	PET J	LiNbO <sub>3</sub>
Fe	Ka	LIFH	Haematite
Cr	Ka	LIFH	Chromium Oxide
V	Ka	LIFH	V
Ba	La	LIFH	Barite
K	Ka	PETH	Sanidine
Zr	La	PETH	Zirconia

**Tabela XI.10** – Padrões analíticos referentes às análises de silicato de Fe (ferrossilite?).

<i>Silicato de Fe (Ferrossilite?)</i>			
<b>Elemento</b>	<b>Risca analítica</b>	<b>Cristais analisadores e detector</b>	<b>Padrões</b>
Cr	La	PET J	Chromium Oxide
Fe	La	LIFH	Almandine
Mg	Lb	TAP	Diopside
Zn	La	LIFH	Sphalerite
K	La	PETH	Sanidine
Al	Ka	TAP	Plagioclase
Ca	Ka	PET J	Diopside

**Tabela XI.11** – Padrões analíticos referentes às análises de carbonatos comuns.

<i>Carbonatos comuns</i>			
<b>Elemento</b>	<b>Risca analítica</b>	<b>Cristais analisadores e detector</b>	<b>Padrões</b>
C	Ka	LDE2	Calcite
Mg	Ka	TAP	Almandine
Ca	Ka	PET J	Calcite
Fe	Ka	LIFH	Magnetite
Mn	Ka	PET J	Bustamite
Zn	Ka	LIFH	Sphalerite
Sr	La	PETH	Celestite
Ba	La	PET J	Barite
Na	Ka	TAP	Jadaite
Ti	Ka	PET J	Rutile
Ce	La	PET J	Monazite
La	La	PET J	Monazite



**Tabela XI.12** – Padrões analíticos referentes às análises de synchysite.

<i>Synchysite</i>			
Elemento	Risca analítica	Cristais analisadores e detector	Padrões
Ce	La	LIF	Monazite
F	Ka	TAP	Apatite
Nb	La	PET J	LiNbO <sub>3</sub>
Nd	La	LIF	Chromium Diopside
Na	Ka	TAP	Jadeite
S	Ka	PET J	Stibnite
Pb	Ma	PETH	Galena
Gd	La	LIF	REE 1
Mg	Ka	TAP	Pyrope
Cl	Ka	PET J	Tugtupite
Pr	Lb	LIFH	Monazite
Dy	Lb	LIF	REE 4
Pa	Ma	PETH	CAL-STD
Sm	La	LIFH	REE 2
Yb	La	LIF	REE 2
Al	Ka	TAP	Almandine
Ca	Ka	PET J	Diopside
Eu	La	LIFH	REE 1
Lu	La	LIF	REE 2
Si	Ka	TAP	Diopside
Ba	La	PET J	Benitoite
Ho	La	LIF	Skutterudite
Sr	La	TAP	Celestite
Ta	La	LIF	LiTaO <sub>3</sub>
Y	La	TAP	Zirconia
La	La	PET J	Monazite
Tb	La	LIF	REE 1
P	Ka	TAP	Apatite
Mn	Ka	PET J	Bustamite
Fe	Ka	LIFH	Almandine
Tm	La	LIF	REE 1
Er	La	LIFH	REE 4

**Tabela XI.13** – Padrões analíticos referentes às análises de fluor-apatite.

<i>Fluor-apatite</i>			
<b>Elemento</b>	<b>Risca analítica</b>	<b>Cristais analisadores e detector</b>	<b>Padrões</b>
La	La	PET J	Monazite
F	Ka	TAP	Apatite
Sr	La	PET J	Celestite
P	Ka	PETH	Apatite
Nd	La	PET J	REE 6
Na	Ka	TAP	Jadeite
Ce	La	LIF	Monazite
Ca	Ka	PETH	Diopside
Mn	Ka	PET J	Bustamite
Mg	Ka	TAP	Periclase
Cl	Ka	PET J	Tugtupite
Fe	Ka	LIFH	Almandine

**Tabela XI.14** – Padrões analíticos referentes às análises de óxidos.

<b>Óxidos</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Risca analítica</b>	<b>Cristais analisadores e detector</b>	<b>Padrões</b>
P	Ka	PET J	Apatite
Na	Ka	TAP	Jadeite
S	Ka	PET J	Stibnite
Ba	La	LIFH	Benitoite
Bi	Ma	PET J	Bismuth Selenide
Mg	Ka	TAP	Paericlase
Pb	Ma	PET J	Galena
V	Ka	LIFH	V
Ag	La	PET J	Ag
As	La	TAP	Galium Arsenide
K	Ka	PET J	Sanidine
Cr	Ka	LIFH	Chromium Oxide
Ca	Ka	PET J	Diopside
Al	Ka	TAP	Plagioclase
Sn	La	PET J	Cassiterite
Fe	Ka	LIFH	Haematite
Zn	Ka	LIF	Willemite
Si	Ka	TAP	Diopside
Ti	Ka	PET J	Rutile
Ni	Ka	LIFH	Nickel Silicide
Ta	La	LIF	LiTaO <sub>3</sub>
Zr	La	TAP	Zirconia
Mn	Ka	PET J	Rhodonite
Cu	Ka	LIFH	Cuprite
Co	Ka	LIF	Skutterudite
Nb	La	TAP	Metallic Nb
W	La	LIF	Metallic W
Sb	La	PET J	Stibnite
Au	Ma	PETH	Au

**Tabela XI.15** – Padrões analíticos referentes às análises de sulfuretos e sulfossais.

<i>Sulfuretos e Sulfossais</i>			
<b>Elemento</b>	<b>Risca analítica</b>	<b>Cristais analisadores e detector</b>	<b>Padrões</b>
S	Ka	PETH	Pyrite
Fe	Ka	LIFH	Pyrite
Cu	Ka	LIFH	Cuprite
Zn	Ka	LIF	Sphalerite
Pb	Ma	PET J	Galena
As	La	TAP	Galium Arsenide
Sb	La	PET J	Stibnite
Ni	Ka	LIF	Pentlandite
Sn	La	PET J	Metallic Sn
Co	Ka	LIFH	Skutterudite
Mn	Ka	PET J	Bustamite
Au	Ma	PETH	Au
Ag	La	PET J	Ag
Bi	Ma	PET J	Bismuth Selenide
Ge	La	TAP	Metallic Ge
Se	La	TAP	Bismuth Selenide
In	La	PET J	Metallic In
Cd	La	PET J	Cd
W	La	LIF	W
Mo	La	PETH	Molybdenite
Ga	La	TAP	Metallic Ga
Te	La	PET J	CAL-STD



### XI.2.3. Limites de detecção

**Tabela XI.16** – Limites de detecção elementares (ppm) dos padrões analíticos utilizados para obtenção de análises de feldspato, moscovite e stilpnomelano, clorite, epidoto, zircão e titanite.

<i>Fsp</i>		<i>Msc + Stp</i>		<i>Chl</i>		<i>Ep</i>		<i>Zrn</i>		<i>Ttn</i>	
CaO	290	CaO	170	TiO <sub>2</sub>	360	ZnO		Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1230	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1160
Na <sub>2</sub> O	370	F	520	F	780	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1570	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	440	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	990
SrO	1130	SiO <sub>2</sub>	450	SiO <sub>2</sub>	240	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	640	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	430	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2270
SiO <sub>2</sub>	420	TiO <sub>2</sub>	330	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	280	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1400	TiO <sub>2</sub>	230	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	730
BaO	750	Na <sub>2</sub> O	140	MnO	320	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4510	MgO	110	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1130
MgO	280	Cl	90	MgO	180	SiO <sub>2</sub>	190	CaO	160	SiO <sub>2</sub>	130
TiO <sub>2</sub>	520	K <sub>2</sub> O	70	ZnO	730	MgO	160	F	900	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	100
K <sub>2</sub> O	120	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	250	FeO	240	Na <sub>2</sub> O	160	ZrO <sub>2</sub>	390	MgO	90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	400	MgO	160	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	260	F	1690	ThO <sub>2</sub>	1010	Na <sub>2</sub> O	110
FeO	360	Cs <sub>2</sub> O	320	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	220	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	170	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	370	F	760
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	400	BaO	320	NiO	470	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	390	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	230	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	260
		MnO	280			Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	610	HfO <sub>2</sub>	610	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	460
		Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	310			La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	660	SiO <sub>2</sub>	195	TiO <sub>2</sub>	240
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	220			TiO <sub>2</sub>	330			CaO	150
		FeO	220			CaO	180			Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	450
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	240			Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	640			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	180
						Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	290			Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	180
						Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	270			V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	180
						V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	300			BaO	450
						BaO	560			K <sub>2</sub> O	60
						ThO <sub>2</sub>	390			ZrO <sub>2</sub>	200
						ZrO <sub>2</sub>	270				

**Tabela XI.17** – Limites de detecção elementares (ppm) dos padrões analíticos utilizados para obtenção de análises de silicato de Fe (ferrossilite?), carbonatos comuns e synchysite e apatite.

<b>Silicato de Ferro</b>		<b>Cb</b>		<b>Syn</b>		<b>Ap</b>	
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	160	<b>W</b>	-	<b>Ce</b>	1220	<b>Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1340
<b>FeO</b>	170	<b>Mo</b>	180	<b>F</b>	1200	<b>F</b>	1090
<b>MgO</b>	90	<b>Sn</b>	260	<b>Nb</b>	410	<b>Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	500
<b>ZnO</b>	490	<b>In</b>	270	<b>Na</b>	120	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	170
<b>K<sub>2</sub>O</b>	50	<b>Ge</b>	160	<b>S</b>	210	<b>Cl</b>	110
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	90	<b>Pb</b>	590	<b>Pb</b>	230	<b>CaO</b>	120
<b>CaO</b>	60	<b>Cd</b>	260	<b>Gd</b>	1030	<b>SrO</b>	720
		<b>Zn</b>	540	<b>Mg</b>	120	<b>La<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	430
		<b>Cu</b>	260	<b>Cl</b>	120	<b>MnO</b>	330
		<b>Ni</b>	340	<b>Pr</b>	940	<b>Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	370
		<b>Co</b>	180	<b>Dy</b>	2130	<b>FeO</b>	250
		<b>Fe</b>	180	<b>Pa</b>	470	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	280
		<b>Mn</b>	240	<b>Sm</b>	600		
		<b>Au</b>	250	<b>Yb</b>	1410		
		<b>Ag</b>	230	<b>Al</b>	120		
		<b>Bi</b>	790	<b>Ca</b>	170		
		<b>Te</b>	280	<b>Eu</b>	600		
		<b>Sb</b>	270	<b>Lu</b>	1450		
		<b>As</b>	230	<b>Si</b>	150		
		<b>Se</b>	170	<b>Ba</b>	560		
		<b>S</b>	60	<b>Ho</b>	1250		
				<b>Sr</b>	210		
				<b>Ta</b>	1500		
				<b>Y</b>	240		
				<b>La</b>	590		
				<b>P</b>	190		
				<b>Mn</b>	360		
				<b>Fe</b>	270		
				<b>Tm</b>	1110		
				<b>Er</b>	310		

**Tabela XI.18** – Limites de detecção elementares (ppm) dos padrões analíticos utilizados para obtenção de análises de óxidos, sulfuretos e sulfossais.

<b>Óxidos</b>			<b>Py</b>	<b>Sp</b>	<b>Gn</b>	<b>Ccp</b>	<b>Apy</b>	<b>Ttr</b>	<b>Brn</b>	<b>Cob-Gdf</b>
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	660	<b>W</b>	-	-	-	-	960	-	-	1050
<b>PbO<sub>2</sub></b>	780	<b>Mo</b>	180	180	-	180	180	200	-	180
<b>V<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	370	<b>Sn</b>	260	290	360	280	300	520	520	460
<b>As<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	600	<b>In</b>	270	320	-	300	320	560	380	330
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	330	<b>Ge</b>	160	140	200	140	-	160	170	220
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	220	<b>Ga</b>	-	-	210	160	200	210	200	190
<b>SnO<sub>2</sub></b>	420	<b>Pb</b>	590	560	850	570	530	580	770	550
<b>FeO</b>	290	<b>Cd</b>	260	280	-	280	300	500	340	300
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	330	<b>Zn</b>	540	680	1050	640	670	800	890	820
<b>SiO<sub>2</sub></b>	340	<b>Cu</b>	260	320	470	300	320	370	430	340
<b>TiO<sub>2</sub></b>	430	<b>Ni</b>	340	400	580	390	400	440	520	400
<b>Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	390	<b>Co</b>	180	200	290	190	200	230	260	210
<b>Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	1700	<b>Fe</b>	180	200	280	200	210	230	250	210
<b>ZrO<sub>2</sub></b>	420	<b>Mn</b>	240	270	390	270	280	320	350	290
<b>MnO<sub>2</sub></b>	450	<b>Au</b>	250	270	-	260	280	290	370	280
<b>Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	460	<b>Ag</b>	230	280	360	270	290	340	350	290
<b>Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	510	<b>Bi</b>	790	760	-	740	800	860	270	-
<b>WO<sub>3</sub></b>	1700	<b>Te</b>	280	320	390	300	340	500	540	450
<b>Sb<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	280	<b>Sb</b>	270	330	390	320	340	360	400	390
		<b>As</b>	230	230	360	240	340	260	300	300
		<b>Se</b>	170	170	240	170	-	190	210	260
		<b>S</b>	60	60	60	60	60	60	80	60

#### XI.2.4. Estatística descritiva e análises-representativas

**Tabela XI.19** – Análises representativas (em wt%) dos diferentes grupos de feldspato definidos.

	Plagioclase					K-Fsp
	Vulcânicas			Intrusivas		
	Núcleo	Bordo	Veios	Núcleo	Bordo	
	18-4#72c2 (1)	18-3#63c2 (6)	19-1#47c1 (7)	19-1#33c3 (3)	19-1#33c3 (6)	18-4#72c1 (1)
TiO <sub>2</sub>	0,000	0,025	0,000	0,039	0,075	0,000
SiO <sub>2</sub>	67,729	69,450	69,221	67,658	68,366	65,265
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (t)	0,367	0,152	0,093	0,079	0,142	0,023
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,377	18,250	18,315	19,674	18,503	17,807
BaO	0,000	0,000	0,033	0,000	0,042	0,084
SrO	0,022	0,001	0,000	0,000	0,130	0,000
MnO	0,000	0,000	0,043	0,000	0,000	0,000
CaO	1,025	0,197	0,105	0,295	0,477	0,000
MgO	0,036	0,009	0,000	0,027	0,000	0,000
K <sub>2</sub> O	0,348	0,070	0,040	0,761	0,046	16,564
Na <sub>2</sub> O	10,914	11,886	12,080	11,068	11,397	0,190
Total	99,818	100,040	99,930	99,601	99,178	99,933

**Tabela XI.20** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para análises referentes ao núcleo de fenocristais e mineraloclastos de feldspato em metavulcânicas.

	<b>Plagioclase - Vulcânicas - Núcleo</b>				
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,009	0,016	0,000	0,068	0,000
<b>SiO<sub>2</sub></b>	68,475	1,555	68,638	71,950	63,573
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (t)</b>	0,119	0,168	0,057	0,775	0,000
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	18,505	1,105	18,661	21,719	15,995
<b>BaO</b>	0,016	0,027	0,000	0,085	0,000
<b>SrO</b>	0,049	0,053	0,033	0,152	0,000
<b>MnO</b>	0,001	0,004	0,000	0,017	0,000
<b>CaO</b>	0,533	0,399	0,479	1,556	0,058
<b>MgO</b>	0,032	0,091	0,007	0,442	0,000
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,210	0,524	0,077	2,564	0,021
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	11,190	0,723	11,344	12,008	8,894



**Tabela XI.21** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para análises referentes ao bordo de fenocristais e mineraloclastos de feldspato em metavulcânicas.

<b>Plagioclase - Vulcânicas - Bordo</b>					
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,007	0,012	0,000	0,029	0,000
<b>SiO<sub>2</sub></b>	68,637	0,842	68,751	69,858	66,891
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (t)</b>	0,063	0,056	0,048	0,167	0,000
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	18,538	0,428	18,482	19,387	17,925
<b>BaO</b>	0,023	0,031	0,009	0,113	0,000
<b>SrO</b>	0,085	0,073	0,054	0,212	0,000
<b>MnO</b>	0,003	0,009	0,000	0,032	0,000
<b>CaO</b>	0,475	0,363	0,373	1,137	0,060
<b>MgO</b>	0,006	0,009	0,000	0,026	0,000
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,080	0,059	0,070	0,236	0,011
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	11,373	0,499	11,558	11,971	10,482

**Tabela XI.22** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para análises referentes a feldspato presente em veios encaixados em metavulcânicas.

<b>Plagioclase - Vulcânicas - Veios</b>					
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,003	0,004	0,000	0,011	0,000
<b>SiO<sub>2</sub></b>	68,829	0,605	68,807	69,633	67,850
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (t)</b>	0,050	0,031	0,047	0,106	0,000
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	18,361	0,221	18,322	18,671	17,854
<b>BaO</b>	0,017	0,023	0,007	0,061	0,000
<b>SrO</b>	0,060	0,064	0,037	0,189	0,000
<b>MnO</b>	0,007	0,014	0,000	0,043	0,000
<b>CaO</b>	0,280	0,219	0,175	0,731	0,066
<b>MgO</b>	0,001	0,002	0,000	0,007	0,000
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,037	0,015	0,036	0,062	0,003
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	11,900	0,308	11,971	12,383	11,339

**Tabela XI.23** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para análises referentes ao núcleo de fenocristais de feldspato em unidades intrusivas.

<b>Plagioclase - Intrusivas - Núcleo</b>					
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,013	0,023	0,000	0,039	0,000
<b>SiO<sub>2</sub></b>	68,244	0,545	68,340	68,735	67,658
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (t)</b>	0,079	0,015	0,079	0,094	0,064
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	18,928	0,659	18,687	19,674	18,423
<b>BaO</b>	0,022	0,032	0,007	0,059	0,000
<b>SrO</b>	0,044	0,045	0,041	0,090	0,000
<b>MnO</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>CaO</b>	0,337	0,039	0,344	0,372	0,295
<b>MgO</b>	0,019	0,014	0,027	0,027	0,003
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,276	0,420	0,037	0,761	0,031
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	11,412	0,298	11,571	11,597	11,068

**Tabela XI.24** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt %) para análises referentes ao bordo de fenocristais de feldspato em unidades intrusivas.

<b>Plagioclase - Intrusivas - Bordo</b>					
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,030	0,040	0,016	0,075	0,000
<b>SiO<sub>2</sub></b>	68,729	0,316	68,879	68,942	68,366
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (t)</b>	0,144	0,016	0,142	0,160	0,129
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	18,488	0,060	18,503	18,540	18,422
<b>BaO</b>	0,018	0,021	0,009	0,042	0,002
<b>SrO</b>	0,074	0,063	0,085	0,130	0,006
<b>MnO</b>	0,007	0,013	0,000	0,022	0,000
<b>CaO</b>	0,401	0,067	0,370	0,477	0,355
<b>MgO</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,046	0,000	0,046	0,046	0,046
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	11,275	0,130	11,289	11,397	11,139

**Tabela XI.25**– Análises representativas (em wt%) dos dois grupos de mica branca definidos.

	<b>Ante-Deform.</b>	<b>Pós-Deform.</b>
	<i>18-3#87c3 (3)</i>	<i>18-4#62c2 (2)</i>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,000	0,070
<b>SiO<sub>2</sub></b>	48,407	50,738
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,000	0,000
<b>Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,000	0,000
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,058	0,000
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	32,717	28,911
<b>BaO</b>	0,492	0,164
<b>FeO</b>	3,269	1,831
<b>MnO</b>	0,002	0,000
<b>CaO</b>	0,031	0,027
<b>MgO</b>	0,507	2,721
<b>Cs<sub>2</sub>O</b>	0,000	0,001
<b>K<sub>2</sub>O</b>	9,257	11,186
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,736	0,145
<b>Cl</b>	0,003	0,000
<b>F</b>	0,237	0,078
<b>H<sub>2</sub>O</b>	4,386	4,470
<b>Total</b>	100,102	100,342

**Tabela XI.26** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt %) para análises de mica branca referentes ao grupo ante-deformação.

	<b>Mica Potássica Dioctaédrica: Ante-Deformação</b>				
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,028	0,030	0,017	0,093	0,000
<b>SiO<sub>2</sub></b>	47,997	1,788	47,786	53,824	42,998
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,562	1,152	0,000	4,733	0,000
<b>Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,003	0,010	0,000	0,047	0,000
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,047	0,019	0,047	0,091	0,011
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	33,444	0,905	33,244	35,775	31,804
<b>BaO</b>	0,374	0,190	0,307	1,150	0,151
<b>FeO</b>	1,877	1,490	2,446	4,268	0,000
<b>MnO</b>	0,017	0,020	0,008	0,067	0,000
<b>CaO</b>	0,050	0,046	0,033	0,212	0,000
<b>MgO</b>	1,205	0,665	1,325	2,619	0,250
<b>Cs<sub>2</sub>O</b>	0,005	0,012	0,000	0,066	0,000
<b>K<sub>2</sub>O</b>	9,299	1,042	9,531	10,810	5,621
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,770	0,476	0,683	2,902	0,133
<b>Cl</b>	0,008	0,008	0,006	0,033	0,000
<b>F</b>	0,207	0,099	0,198	0,481	0,043
<b>H<sub>2</sub>O</b>	4,424	0,062	4,420	4,592	4,289

**Tabela XI.27** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt %) para análises de mica branca referentes ao grupo pós-deformação.

<b>Mica Potássica Dioctaédrica: Pós-Deformação</b>					
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,045	0,049	0,036	0,142	0,000
<b>SiO<sub>2</sub></b>	50,791	1,156	50,738	54,695	49,441
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,497	0,831	0,000	2,401	0,000
<b>Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,002	0,010	0,000	0,048	0,000
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,044	0,024	0,047	0,081	0,000
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	29,575	1,216	29,283	31,502	27,297
<b>BaO</b>	0,161	0,095	0,164	0,358	0,016
<b>FeO</b>	1,622	0,790	1,854	2,603	0,000
<b>MnO</b>	0,007	0,015	0,000	0,049	0,000
<b>CaO</b>	0,054	0,038	0,045	0,198	0,014
<b>MgO</b>	2,339	0,635	2,097	3,570	1,143
<b>Cs<sub>2</sub>O</b>	0,005	0,009	0,000	0,028	0,000
<b>K<sub>2</sub>O</b>	10,082	1,214	10,754	11,186	7,401
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,421	0,615	0,145	2,713	0,106
<b>Cl</b>	0,004	0,005	0,001	0,015	0,000
<b>F</b>	0,180	0,218	0,078	0,624	0,000
<b>H<sub>2</sub>O</b>	4,454	0,096	4,471	4,583	4,202



**Tabela XI.28** – Análises representativas (em wt%) para os diferentes grupos de Chl definidos.

	<b>el</b>	<b>vulc.pré-def.</b>	<b>ell</b>	<b>vulc.pós-def.</b>	<b>lmin</b>	<b>l</b>	<b>Jsp</b>
	<i>18-5A#50c5 (1)</i>	<i>18-5A#40c6 (1)</i>	<i>18-4#156c5 (2)</i>	<i>19-1#47c4 (11)</i>	<i>18-3#17c3 (4)</i>	<i>18-3#17c1 (4)</i>	<i>18-3#87c1 (1)</i>
TiO <sub>2</sub>	0,023	0,000	0,011	0,000	0,019	0,000	0,000
SiO <sub>2</sub>	27,746	27,328	25,131	26,852	28,287	27,294	23,859
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,107	0,071	0,038	0,058	0,072	0,066	0,068
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,558	21,038	21,221	19,837	19,055	18,111	21,381
BaO	0,010	0,016	0,016	0,001	0,000	0,029	0,011
ZnO	0,600	0,117	0,152	0,000	0,170	0,058	0,364
NiO	0,000	0,031	0,000	0,000	0,043	0,000	0,052
FeO (t)	15,791	21,199	33,320	24,993	22,979	27,587	32,857
MnO	0,530	0,251	0,131	0,460	0,290	0,294	1,649
CaO	0,012	0,025	0,010	0,010	0,185	0,246	0,046
MgO	20,872	18,096	8,829	15,283	17,339	14,097	8,292
Cs <sub>2</sub> O	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012
K <sub>2</sub> O	0,006	0,001	0,010	0,019	0,010	0,007	0,008
Na <sub>2</sub> O	0,016	0,022	0,015	0,012	0,028	0,019	0,044
F	0,191	0,243	0,002	0,009	0,102	0,000	0,014
H <sub>2</sub> O	11,970	11,623	11,061	11,385	11,609	11,253	10,894
<b>Total</b>	<b>100,432</b>	<b>100,076</b>	<b>99,947</b>	<b>98,919</b>	<b>100,188</b>	<b>99,061</b>	<b>99,551</b>

**Tabela XI.29** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt %) para análises de Chl referentes ao grupo **eI**.

	<b>Clorite: el</b>				
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
TiO <sub>2</sub>	0,005	0,009	0,000	0,034	0,000
SiO <sub>2</sub>	25,735	1,424	25,113	28,506	23,342
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,081	0,028	0,074	0,151	0,019
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,929	1,418	21,480	23,116	18,039
BaO	0,028	0,032	0,016	0,123	0,000
ZnO	0,583	0,495	0,331	1,785	0,050
NiO	0,012	0,019	0,000	0,065	0,000
FeO (t)	26,270	6,253	28,630	35,549	14,397
MnO	0,936	0,398	1,166	1,491	0,352
CaO	0,037	0,038	0,027	0,194	0,002
MgO	12,997	4,753	11,354	21,891	6,431
Cs <sub>2</sub> O	0,006	0,014	0,000	0,068	0,000
K <sub>2</sub> O	0,012	0,013	0,009	0,077	0,000
Na <sub>2</sub> O	0,036	0,078	0,020	0,547	0,000
F	0,094	0,079	0,075	0,330	0,000
H <sub>2</sub> O	11,171	0,726	11,165	12,064	9,320

**Tabela XI.30** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt %) para análises de Chl referentes ao grupo **vulc.pré-def.**.

<b>Clorite: vulc.pré-def.</b>					
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
TiO <sub>2</sub>	0,017	0,033	0,005	0,166	0,000
SiO <sub>2</sub>	29,012	2,754	27,600	37,896	26,350
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,059	0,018	0,058	0,104	0,027
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,660	1,303	21,018	22,355	18,565
BaO	0,021	0,025	0,014	0,102	0,000
ZnO	0,171	0,104	0,150	0,466	0,000
NiO	0,011	0,013	0,006	0,039	0,000
FeO (t)	17,969	5,758	21,113	26,609	8,116
MnO	0,204	0,070	0,228	0,337	0,079
CaO	0,044	0,036	0,031	0,158	0,008
MgO	19,770	4,397	17,552	25,940	12,601
Cs <sub>2</sub> O	0,005	0,010	0,000	0,047	0,000
K <sub>2</sub> O	0,085	0,171	0,013	0,558	0,000
Na <sub>2</sub> O	0,020	0,024	0,015	0,125	0,000
F	0,252	0,173	0,234	0,768	0,000
H <sub>2</sub> O	11,764	0,287	11,628	12,566	11,430

**Tabela XI.31** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt %) para análises de Chl referentes ao grupo **eII.**

<b>Clorite: eII</b>					
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
TiO <sub>2</sub>	0,053	0,155	0,015	0,819	0,000
SiO <sub>2</sub>	25,890	1,184	25,649	29,370	24,570
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,068	0,027	0,070	0,136	0,027
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,880	2,119	20,872	22,189	15,775
BaO	0,037	0,087	0,017	0,458	0,000
ZnO	0,138	0,143	0,124	0,815	0,025
NiO	0,014	0,025	0,000	0,104	0,000
FeO (t)	33,886	2,139	33,450	38,550	30,406
MnO	0,178	0,042	0,169	0,265	0,100
CaO	0,053	0,050	0,041	0,248	0,001
MgO	8,433	0,632	8,391	9,672	6,779
Cs <sub>2</sub> O	0,006	0,012	0,000	0,038	0,000
K <sub>2</sub> O	0,041	0,167	0,009	0,874	0,000
Na <sub>2</sub> O	0,019	0,018	0,016	0,076	0,000
F	0,068	0,061	0,048	0,179	0,000
H <sub>2</sub> O	10,677	0,749	10,988	11,746	8,627

**Tabela XI.32** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt %) para análises de Chl referentes ao grupo **vulc.pós-def.**.

<b>Clorite: vulc.pós-def.</b>					
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
TiO <sub>2</sub>	0,017	0,053	0,000	0,368	0,000
SiO <sub>2</sub>	27,231	1,342	26,828	29,666	24,710
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,064	0,020	0,063	0,131	0,022
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,025	1,664	20,410	23,400	14,889
BaO	0,032	0,051	0,017	0,321	0,000
ZnO	0,115	0,081	0,121	0,259	0,000
NiO	0,013	0,022	0,000	0,095	0,000
FeO (t)	23,753	4,897	23,217	31,679	14,306
MnO	0,258	0,154	0,230	0,567	0,057
CaO	0,046	0,050	0,026	0,228	0,000
MgO	15,372	3,876	14,858	23,522	9,057
Cs <sub>2</sub> O	0,004	0,010	0,000	0,049	0,000
K <sub>2</sub> O	0,049	0,107	0,015	0,462	0,000
Na <sub>2</sub> O	0,063	0,252	0,026	2,056	0,000
F	0,164	0,114	0,162	0,560	0,000
H <sub>2</sub> O	11,320	0,703	11,401	12,047	8,663

**Tabela XI.33** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt %) para análises de Chl referentes ao grupo **Imin.**

<b>Clorite: Imin</b>					
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
TiO <sub>2</sub>	0,005	0,008	0,000	0,019	0,000
SiO <sub>2</sub>	27,796	0,515	27,701	28,590	26,931
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,070	0,019	0,070	0,099	0,032
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,839	0,473	18,983	19,570	17,933
BaO	0,021	0,025	0,021	0,082	0,000
ZnO	0,098	0,104	0,045	0,335	0,000
NiO	0,026	0,020	0,026	0,051	0,000
FeO (t)	21,161	3,296	22,145	25,503	17,355
MnO	0,200	0,115	0,276	0,355	0,041
CaO	0,061	0,086	0,024	0,263	0,002
MgO	18,372	1,754	17,758	21,048	15,884
Cs <sub>2</sub> O	0,007	0,014	0,000	0,050	0,000
K <sub>2</sub> O	0,005	0,004	0,004	0,012	0,000
Na <sub>2</sub> O	0,014	0,009	0,013	0,028	0,000
F	0,023	0,039	0,000	0,102	0,000
H <sub>2</sub> O	11,544	0,061	11,536	11,612	11,448

**Tabela XI.34** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt %) para análises de Chl referentes ao grupo **I**.

	<b>Clorite: I</b>				
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,003	0,008	0,000	0,036	0,000
<b>SiO<sub>2</sub></b>	27,336	0,781	27,185	30,525	26,741
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,057	0,024	0,061	0,117	0,012
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	19,031	0,739	19,216	20,045	17,140
<b>BaO</b>	0,012	0,019	0,000	0,057	0,000
<b>ZnO</b>	0,095	0,089	0,079	0,401	0,000
<b>NiO</b>	0,015	0,024	0,000	0,084	0,000
<b>FeO (t)</b>	22,449	4,691	19,470	28,887	17,820
<b>MnO</b>	0,192	0,117	0,141	0,336	0,027
<b>CaO</b>	0,153	0,153	0,046	0,470	0,006
<b>MgO</b>	17,577	2,950	19,473	20,399	13,675
<b>Cs<sub>2</sub>O</b>	0,005	0,009	0,000	0,026	0,000
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,003	0,005	0,000	0,019	0,000
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,018	0,012	0,017	0,053	0,000
<b>F</b>	0,024	0,039	0,000	0,105	0,000
<b>H<sub>2</sub>O</b>	10,914	1,208	11,355	11,636	8,182

**Tabela XI.35** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (wt %) para análises de Chl referentes ao grupo **Jsp**.

	<b>Clorite: Jsp</b>				
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,001	0,002	0,000	0,005	0,000
<b>SiO<sub>2</sub></b>	24,753	1,095	24,300	27,592	23,591
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,065	0,020	0,065	0,108	0,030
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	20,776	0,828	21,305	21,654	19,145
<b>BaO</b>	0,025	0,025	0,018	0,079	0,000
<b>ZnO</b>	0,177	0,100	0,175	0,364	0,032
<b>NiO</b>	0,056	0,051	0,048	0,164	0,000
<b>FeO (t)</b>	31,794	2,666	32,630	35,514	26,496
<b>MnO</b>	1,435	0,286	1,379	1,947	1,068
<b>CaO</b>	0,029	0,022	0,024	0,091	0,001
<b>MgO</b>	8,818	1,863	8,452	13,867	6,481
<b>Cs<sub>2</sub>O</b>	0,005	0,010	0,000	0,036	0,000
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,055	0,165	0,006	0,709	0,000
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,040	0,037	0,029	0,149	0,012
<b>F</b>	0,043	0,076	0,004	0,307	0,000
<b>H<sub>2</sub>O</b>	10,683	0,614	10,920	11,254	9,491

**Tabela XI.36** – Análise representativa (em wt%) de stilpnomelano e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de stilpnomelano.

<b>Stilpnomelano</b>						
	<i>19-1#13c3 (1)</i>	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,000	0,001	0,002	0,000	0,012	0,000
<b>SiO<sub>2</sub></b>	48,186	48,230	1,209	48,425	49,909	43,467
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,157	3,502	2,228	3,502	9,654	0,257
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,081	0,073	0,024	0,075	0,115	0,035
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	5,431	5,328	0,131	5,354	5,588	5,115
<b>BaO</b>	0,046	0,032	0,035	0,033	0,139	0,000
<b>NiO</b>	0,000	0,006	0,014	0,000	0,052	0,000
<b>FeO</b>	35,194	35,132	1,705	35,228	37,847	30,525
<b>MnO</b>	0,182	0,202	0,097	0,182	0,630	0,125
<b>CaO</b>	0,049	0,043	0,027	0,036	0,129	0,017
<b>MgO</b>	1,639	1,634	0,046	1,639	1,694	1,498
<b>Cs<sub>2</sub>O</b>	0,000	0,006	0,016	0,000	0,062	0,000
<b>K<sub>2</sub>O</b>	2,058	2,179	0,526	2,074	3,737	1,493
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,535	0,476	0,096	0,470	0,672	0,359
<b>Cl</b>	0,140	0,136	0,017	0,140	0,158	0,105
<b>F</b>	0,000	0,009	0,019	0,000	0,070	0,000
<b>H<sub>2</sub>O</b>	3,939	3,342	0,901	3,865	3,982	1,826
<b>Total</b>	100,636					



**Tabela XI.37** – Análises representativas (em wt%) para os diferentes grupos de epidoto identificados e estatística descritiva (em wt%) para a totalidade das análises de epidoto.

	Epidoto									
	RB_V	RB_M	RC_M	RI_M	I_V	Média	Desv.-Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo
	18-3#13c1 (5)	18-4#113ca (4)	18-3#21c2 (3)	18-4#62c1 (5)	18-3#17c1 (3)					
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,057	0,047	0,000	0,161	0,000	0,044	0,060	0,006	0,205	0,000
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,000	0,000	0,017	0,000	0,023	0,014	0,018	0,010	0,056	0,000
ThO <sub>2</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,004	0,008	0,000	0,028	0,000
ZrO <sub>2</sub>	0,000	0,000	0,003	0,024	0,009	0,006	0,010	0,000	0,045	0,000
TiO <sub>2</sub>	0,037	0,000	0,098	0,094	0,052	0,037	0,030	0,030	0,098	0,000
SiO <sub>2</sub>	38,763	38,650	38,342	38,674	37,957	38,750	0,803	38,649	42,189	37,515
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,015	0,059	0,044	0,000	0,000	0,024	0,028	0,007	0,089	0,000
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,175	0,033	0,000	0,043	0,056	0,014	0,175	0,000
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,418	0,000	0,055	0,136	0,101	0,093	0,114	0,046	0,418	0,000
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,029	0,021	0,034	0,030	0,000	0,016	0,020	0,002	0,059	0,000
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,039	0,000	0,093	0,059	0,000	0,027	0,030	0,021	0,093	0,000
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (t)	5,631	8,538	3,092	4,173	10,849	6,433	2,704	6,022	15,288	3,092
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (t)	0,006	0,063	0,111	0,006	0,026	0,048	0,047	0,039	0,234	0,000
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,006	0,008	0,004	0,029	0,000
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,039	0,013	0,000	0,051	0,125	0,043	0,038	0,040	0,157	0,000
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,036	27,135	30,760	29,942	25,289	28,220	2,037	28,264	31,165	21,817
BaO	0,000	0,000	0,035	0,000	0,005	0,016	0,019	0,006	0,058	0,000
ZnO	0,990	0,051	0,062	0,000	0,015	0,162	0,349	0,011	1,315	0,000
CaO	23,604	23,771	24,014	24,276	23,691	23,859	0,460	23,933	24,687	22,268
MgO	0,019	0,020	0,042	0,107	0,033	0,046	0,036	0,040	0,134	0,000
Na <sub>2</sub> O	0,000	0,000	0,023	0,004	0,000	0,007	0,010	0,002	0,033	0,000
F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,031	0,048	0,000	0,145	0,000
H <sub>2</sub> O	1,918	1,924	1,930	1,939	1,903	1,912	0,024	1,918	1,951	1,864
Total	99,601	100,293	98,931	99,712	100,083					

**Tabela XI.38** – Análise representativa (em wt%) de zircão e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de zircão.

<b>Zircão</b>						
	<i>18-3#63c4 (3)</i>	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>UO<sub>3</sub></b>	0,013	0,053	0,049	0,034	0,138	0,000
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,327	0,390	0,327	0,286	1,249	0,000
<b>ThO<sub>2</sub></b>	0,000	0,089	0,118	0,047	0,365	0,000
<b>HfO<sub>2</sub></b>	1,359	1,374	0,149	1,372	1,735	1,147
<b>ZrO<sub>2</sub></b>	64,117	63,955	1,073	64,227	65,080	61,288
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,000	0,023	0,058	0,000	0,232	0,000
<b>SiO<sub>2</sub></b>	32,638	32,499	0,601	32,654	33,124	30,579
<b>Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,000	0,016	0,019	0,010	0,054	0,000
<b>Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,000	0,044	0,060	0,000	0,196	0,000
<b>La<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,000	0,012	0,022	0,000	0,070	0,000
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,479	0,911	1,173	0,385	4,235	0,004
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,000	0,029	0,056	0,004	0,177	0,000
<b>MnO</b>	0,040	0,019	0,019	0,016	0,056	0,000
<b>CaO</b>	0,016	0,041	0,046	0,033	0,152	0,000
<b>MgO</b>	0,000	0,028	0,058	0,012	0,235	0,000
<b>F</b>	0,000	0,044	0,066	0,000	0,209	0,000
<b>Total</b>	99,989					

**Tabela XL.39** – Análises representativas (em wt%) de titanite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de titanite.

	Titanite						
	18-4#62c0 (1)	18-3#21c3 (2)	Média	Desv.-Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo
<b>Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,000	0,072	0,070	0,075	0,054	0,227	0,000
<b>Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,065	0,143	0,083	0,069	0,059	0,221	0,000
<b>ZrO<sub>2</sub></b>	0,046	0,086	0,130	0,203	0,052	0,670	0,013
<b>VO<sub>2</sub></b>	0,033	0,041	0,061	0,036	0,055	0,134	0,000
<b>TiO<sub>2</sub></b>	32,289	27,130	29,831	2,415	30,703	32,587	24,444
<b>SiO<sub>2</sub></b>	31,024	31,111	31,142	0,242	31,097	31,460	30,638
<b>Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,000	0,042	0,060	0,051	0,047	0,147	0,000
<b>Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,000	0,104	0,096	0,132	0,051	0,429	0,000
<b>Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,035	0,000	0,121	0,146	0,070	0,397	0,000
<b>Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,041	0,092	0,129	0,191	0,056	0,544	0,000
<b>La<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,040	0,040	0,026	0,033	0,010	0,101	0,000
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,810	0,158	0,651	0,497	0,613	1,573	0,138
<b>Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,000	0,000	0,010	0,015	0,002	0,051	0,000
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,010	0,000	0,008	0,012	0,002	0,036	0,000
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4,867	8,146	6,168	1,546	5,561	9,379	4,333
<b>BaO</b>	0,184	0,120	0,133	0,026	0,130	0,184	0,088
<b>ZnO</b>	0,009	0,000	0,036	0,038	0,031	0,120	0,000
<b>CaO</b>	27,978	29,519	28,178	0,944	28,093	29,519	26,489
<b>MgO</b>	0,777	0,014	0,625	0,650	0,451	1,795	0,014
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,104	0,002	0,052	0,053	0,039	0,160	0,000
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,002	0,025	0,027	0,018	0,023	0,063	0,002
<b>F</b>	0,796	2,770	1,396	0,777	0,980	2,770	0,603
<b>Total</b>	99,110	99,615					

**Tabela XI.40** – Análises representativas (em *apuf*) de carbonatos duplos da série Ank-Dol para os diferentes grupos definidos e estatística descritiva (em *apuf*) para a totalidade de carbonatos duplos da série Ank-Dol.

Carbonatos Duplos									
	el - vulcân.	ell - vulcân.	ell - minér.	ell - minér.					
	18-5A#55c2 (1)	18-5A#55c3 (1)	18-4#128c1 (5)	18-4#128c1 (3)	Média	Desv.-Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo
Ti <sup>4+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Si <sup>4+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ce <sup>3+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
La <sup>3+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Ba <sup>2+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Sr <sup>2+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Zn <sup>2+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,007	0,000	0,060	0,000
Fe <sup>2+</sup>	0,231	0,449	0,657	0,124	0,410	0,359	0,258	1,429	0,032
Mn <sup>2+</sup>	0,000	0,014	0,026	0,091	0,042	0,032	0,035	0,109	0,000
Ca <sup>2+</sup>	0,951	0,940	1,052	1,040	0,940	0,269	1,030	1,163	0,163
Mg <sup>2+</sup>	0,816	0,580	0,256	0,744	0,602	0,195	0,626	0,938	0,250
Na <sup>+</sup>	0,002	0,016	0,009	0,001	0,004	0,005	0,002	0,032	0,000
Total	2,000	2,000	2,000	2,000					

**Tabela XI.41** – Análises representativas (em *apuf*) de calcite para os diferentes grupos definidos e estatística descritiva (em *apuf*) para a totalidade de calcites.

	Calcite							
	met.cont.	ell	pós-def.					
	18-3#17c3 (1)	18-4#156c5 (1)	18-4#72c3 (4)	Média	Desv.-Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo
Ti <sup>4+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Si <sup>4+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ce <sup>3+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
La <sup>3+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Ba <sup>2+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sr <sup>2+</sup>	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,000
Zn <sup>2+</sup>	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	0,000
Fe <sup>2+</sup>	0,006	0,022	0,002	0,008	0,016	0,004	0,095	0,001
Mn <sup>2+</sup>	0,001	0,006	0,007	0,006	0,005	0,005	0,022	0,000
Ca <sup>2+</sup>	0,990	0,962	0,989	0,981	0,016	0,986	0,995	0,900
Mg <sup>2+</sup>	0,002	0,007	0,001	0,003	0,002	0,002	0,009	0,000
Na <sup>+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Total	1,000	1,000	1,000					



**Tabela XI.42** – Análises representativas (em *apuf*) de siderite para os diferentes grupos definidos e estatística descritiva (em *apuf*) para a totalidade de siderites.

	Siderite						
	sin-def.	el					
	19-1#13c3 (2)	18-3#13c4 (2)	Média	Desv.-Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo
<b>Ti<sup>4+</sup></b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Si<sup>4+</sup></b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ce<sup>3+</sup></b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
<b>La<sup>3+</sup></b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
<b>Ba<sup>2+</sup></b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Sr<sup>2+</sup></b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Zn<sup>2+</sup></b>	0,000	0,012	0,002	0,004	0,000	0,012	0,000
<b>Fe<sup>2+</sup></b>	0,995	0,854	0,930	0,062	0,953	0,996	0,830
<b>Mn<sup>2+</sup></b>	0,000	0,003	0,003	0,005	0,002	0,019	0,000
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	0,004	0,062	0,036	0,039	0,018	0,116	0,001
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	0,000	0,069	0,027	0,025	0,018	0,078	0,000
<b>Na<sup>+</sup></b>	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,004	0,000
<b>Total</b>	1,000	1,000					

**Tabela XI.43** – Análises representativas (em wt%) de synchysite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de synchysite.

<b>Synchysite</b>							
	<b>18-3#87c2 (1)</b>	<b>18-3#90 (5)</b>	<b>Média</b>	<b>Desv.-Pad.</b>	<b>Mediana</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
UO <sub>3</sub>	0,038	0,000	0,009	0,013	0,000	0,038	0,000
SO <sub>3</sub>	0,024	0,000	0,011	0,015	0,000	0,043	0,000
Pa <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,000	0,012	0,019	0,023	0,007	0,063	0,000
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,000	0,000	0,043	0,066	0,000	0,213	0,000
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,000	0,000	0,020	0,026	0,000	0,075	0,000
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,072	0,000	0,018	0,023	0,010	0,072	0,000
ThO <sub>2</sub>	0,163	0,000	0,080	0,080	0,059	0,268	0,000
HfO <sub>2</sub>	0,043	0,115	0,074	0,070	0,063	0,235	0,000
ZrO <sub>2</sub>	0,000	0,009	0,008	0,018	0,000	0,069	0,000
TiO <sub>2</sub>	0,000	0,000	0,006	0,017	0,000	0,055	0,000
SiO <sub>2</sub>	0,117	0,455	0,094	0,151	0,030	0,455	0,000
CO <sub>2</sub>	24,657	24,876	24,963	2,042	24,657	28,915	21,243
Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,123	0,102	0,106	0,079	0,309	0,000
Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,283	0,189	0,134	0,129	0,097	0,348	0,000
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,259	0,239	0,151	0,147	0,143	0,507	0,000
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,394	1,123	0,510	0,412	0,419	1,319	0,000
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,558	2,002	1,052	0,503	0,874	2,016	0,466
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,314	3,139	1,232	1,004	1,009	3,325	0,293
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,134	0,160	0,310	0,203	0,272	0,628	0,000
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,606	2,513	1,862	1,019	1,501	3,775	0,606
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,953	8,492	8,605	0,903	8,550	10,279	6,980
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,606	1,730	2,450	0,377	2,471	3,113	1,730
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,736	12,463	18,739	3,267	19,408	21,743	11,280
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,538	9,458	11,621	1,376	11,730	13,833	9,422
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,537	7,687	3,657	1,950	3,029	7,735	1,658
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,038	0,391	0,094	0,131	0,022	0,391	0,000
PbO	0,060	0,102	0,041	0,028	0,033	0,102	0,000
SrO	0,027	0,000	0,016	0,027	0,000	0,082	0,000
FeO	0,412	0,014	0,320	0,409	0,191	1,691	0,000
CaO	20,343	21,726	20,277	0,668	20,170	21,726	19,427
MgO	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	0,000
K <sub>2</sub> O	0,000	0,027	0,021	0,025	0,011	0,075	0,000
Cl	0,018	0,025	0,025	0,009	0,027	0,043	0,011
F	3,073	2,933	3,571	0,377	3,624	4,142	2,933
Total	100,003	100,003					

**Tabela XI.44** – Análises representativas (em wt%) de apatite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de apatite.

Apatite							
	18-4#156c3 (1)	18-3#63c4 (4)	Média	Desv.-Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	42,237	41,857	41,655	0,720	41,867	42,523	39,256
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,261	0,204	0,174	0,091	0,186	0,299	0,000
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,502	0,234	0,375	0,203	0,376	0,765	0,000
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,123	0,095	0,102	0,061	0,094	0,233	0,000
FeO (t)	0,810	1,850	0,954	0,484	0,746	2,136	0,432
SrO	0,000	0,073	0,002	0,013	0,000	0,073	0,000
MnO	0,087	0,172	0,130	0,067	0,143	0,249	0,005
CaO	53,471	52,890	53,022	0,689	52,967	55,061	51,063
MgO	0,053	0,066	0,091	0,048	0,093	0,214	0,002
Na <sub>2</sub> O	0,206	0,188	0,177	0,066	0,194	0,319	0,033
Cl	0,014	0,009	0,147	0,170	0,055	0,627	0,000
F	2,938	2,987	2,840	0,370	2,877	3,639	2,064
Total	100,702	100,625					

**Tabela XI.45** – Análise representativa (em wt%) de barite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de barite.

Barite						
	18-3#63c0 (3)	Média	Desv.-Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo
SO <sub>3</sub>	34,168	33,959	0,358	33,993	34,529	33,400
ThO <sub>2</sub>	0,156	0,022	0,047	0,000	0,156	0,000
TiO <sub>2</sub>	0,472	0,430	0,068	0,429	0,536	0,323
SiO <sub>2</sub>	0,556	0,556	0,272	0,507	1,271	0,129
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,074	0,105	0,049	0,103	0,207	0,007
PbO	0,157	0,045	0,072	0,000	0,216	0,000
BaO	61,188	61,558	1,221	61,423	63,800	59,839
SrO	1,372	1,928	0,678	1,895	2,898	0,957
CuO	0,000	0,066	0,084	0,031	0,262	0,000
FeO	1,500	0,721	0,706	0,379	1,846	0,091
CaO	0,204	0,092	0,048	0,097	0,204	0,036
MgO	0,037	0,035	0,034	0,035	0,103	0,000
Total	99,884					

**Tabela XI.46** – Análises representativas (em wt%) de magnetite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de magnetite.

	Magnetite							
	sin-def.	Alt	Jsp	Média	Desv.-Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo
	18-5A#14c4 (1)	18-3#63c1 (6)	18-3#87c5 (1)					
SO <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,353	1,753	0,007	9,344	0,000
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,000	0,028	0,000	0,008	0,013	0,000	0,053	0,000
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,030	0,011	0,000	0,008	0,013	0,000	0,052	0,000
ZrO <sub>2</sub>	0,027	0,027	0,002	0,009	0,014	0,000	0,059	0,000
TiO <sub>2</sub>	0,000	0,000	0,000	0,090	0,248	0,000	1,172	0,000
SiO <sub>2</sub>	0,309	0,102	0,067	0,193	0,307	0,093	1,428	0,000
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,001	0,008	0,000	0,044	0,000
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	68,243	68,571	69,078	67,716	1,436	68,293	69,655	62,472
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,015	0,011	0,014	0,005	0,065	0,000
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,032	0,028	0,040	0,052	0,076	0,023	0,364	0,000
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,012	0,022	0,000	0,023	0,028	0,014	0,152	0,000
PbO	0,028	0,100	0,013	0,048	0,041	0,045	0,154	0,000
BaO	0,029	0,037	0,028	0,025	0,025	0,019	0,091	0,000
ZnO	0,000	0,001	0,000	0,028	0,035	0,022	0,151	0,000
CuO	0,000	0,000	0,000	0,009	0,015	0,000	0,049	0,000
NiO	0,006	0,000	0,000	0,007	0,016	0,000	0,074	0,000
CoO	0,098	0,132	0,066	0,109	0,033	0,115	0,167	0,000
FeO	31,255	30,870	31,068	30,852	0,770	30,809	32,931	27,990
MnO	0,025	0,000	0,043	0,010	0,016	0,000	0,054	0,000
CaO	0,000	0,000	0,017	0,014	0,015	0,012	0,068	0,000
MgO	0,000	0,000	0,000	0,003	0,006	0,000	0,028	0,000
Au <sub>2</sub> O	0,009	0,006	0,016	0,022	0,021	0,019	0,063	0,000
Ag <sub>2</sub> O	0,000	0,027	0,000	0,010	0,015	0,000	0,060	0,000
K <sub>2</sub> O	0,000	0,000	0,016	0,004	0,007	0,000	0,029	0,000
Na <sub>2</sub> O	0,000	0,008	0,000	0,010	0,015	0,002	0,058	0,000
Total	100,103	99,970	100,469					

**Tabela XI.47** – Análises representativas (em wt%) de hematite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de hematite.

	Hematite								
	Alt		Jsp		Média	Desv.-Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo
	18-5A#55c2 (9)	18-3#87c1 (2)							
WO <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,059	0,101	0,000	0,306	0,000		
SO <sub>3</sub>	0,063	0,018	0,015	0,022	0,005	0,084	0,000		
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,015	0,021	0,041	0,067	0,012	0,232	0,000		
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,132	0,154	0,086	0,050	0,081	0,190	0,000		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,005	0,000		
SnO <sub>2</sub>	0,000	0,032	0,014	0,024	0,000	0,099	0,000		
ZrO <sub>2</sub>	0,000	0,000	0,010	0,017	0,000	0,055	0,000		
TiO <sub>2</sub>	0,007	0,011	0,649	0,618	0,530	1,735	0,000		
SiO <sub>2</sub>	0,123	0,073	0,097	0,199	0,023	0,932	0,000		
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,001	0,000	0,003	0,007	0,000	0,023	0,000		
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,042	0,000	0,011	0,015	0,000	0,042	0,000		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99,031	99,699	98,914	1,572	99,543	100,816	95,610		
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,069	0,007	0,020	0,000	0,069	0,000		
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,027	0,009	0,011	0,003	0,035	0,000		
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,004	0,095	0,109	0,098	0,095	0,364	0,000		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,043	0,073	0,041	0,028	0,040	0,132	0,000		
PbO	0,000	0,037	0,048	0,040	0,048	0,163	0,000		
BaO	0,000	0,017	0,028	0,029	0,021	0,091	0,000		
ZnO	0,013	0,018	0,036	0,033	0,032	0,117	0,000		
CuO	0,000	0,015	0,017	0,021	0,001	0,055	0,000		
NiO	0,000	0,000	0,001	0,005	0,000	0,017	0,000		
CoO	0,143	0,132	0,110	0,033	0,118	0,149	0,036		
FeO	0,215	0,000	0,504	0,572	0,286	1,904	0,000		
MnO	0,008	0,000	0,014	0,016	0,008	0,054	0,000		
CaO	0,009	0,013	0,010	0,013	0,009	0,049	0,000		
MgO	0,000	0,000	0,005	0,008	0,000	0,028	0,000		
Au <sub>2</sub> O	0,036	0,006	0,021	0,018	0,023	0,063	0,000		
Ag <sub>2</sub> O	0,013	0,010	0,015	0,021	0,005	0,066	0,000		
K <sub>2</sub> O	0,006	0,030	0,007	0,009	0,004	0,030	0,000		
Na <sub>2</sub> O	0,007	0,013	0,011	0,014	0,007	0,050	0,000		
Total	99,911	100,563							



**Tabela XI.48** – Análise representativa (em wt%) de goethite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de goethite.

Goethite						
	18-5A#14c2 (4)	Média	Desv.-Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo
SO <sub>3</sub>	0,015	0,213	0,233	0,158	0,532	0,000
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,007	0,009	0,013	0,004	0,032	0,000
ZrO <sub>2</sub>	0,000	0,003	0,004	0,000	0,008	0,000
SiO <sub>2</sub>	0,992	1,053	0,324	1,131	1,383	0,673
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,007	0,017	0,000	0,042	0,000
Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,020	0,084	0,034	0,096	0,115	0,020
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	88,893	89,175	0,319	89,122	89,671	88,838
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,033	0,010	0,015	0,000	0,033	0,000
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,011	0,009	0,011	0,024	0,000
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,007	0,001	0,003	0,000	0,007	0,000
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,020	0,029	0,033	0,025	0,088	0,000
PbO	0,000	0,030	0,046	0,006	0,113	0,000
BaO	0,009	0,042	0,039	0,039	0,091	0,000
ZnO	0,000	0,022	0,036	0,000	0,086	0,000
CuO	0,080	0,018	0,032	0,000	0,080	0,000
CaO	0,031	0,033	0,019	0,033	0,061	0,008
MgO	0,133	0,061	0,054	0,057	0,133	0,000
Au <sub>2</sub> O	0,000	0,028	0,017	0,029	0,053	0,000
Ag <sub>2</sub> O	0,029	0,014	0,016	0,009	0,035	0,000
K <sub>2</sub> O	0,000	0,007	0,010	0,001	0,022	0,000
Na <sub>2</sub> O	0,000	0,003	0,006	0,000	0,016	0,000
H <sub>2</sub> O	10,272	10,357	0,094	10,361	10,447	10,253
Total	100,541					

**Tabela XI.49** – Análise representativa (em wt%) de pseudobrookite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de pseudobrookite.

<b>Pseudobrookite</b>						
	<i>18-3#63c0 (4)</i>	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>SO<sub>3</sub></b>	0,000	0,009	0,012	0,000	0,037	0,000
<b>As<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,010	0,012	0,014	0,006	0,040	0,000
<b>ZrO<sub>2</sub></b>	0,012	0,031	0,032	0,022	0,115	0,000
<b>TiO<sub>2</sub></b>	46,203	53,788	3,682	55,831	56,713	46,203
<b>SiO<sub>2</sub></b>	0,234	0,102	0,140	0,026	0,431	0,003
<b>Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,000	0,006	0,012	0,000	0,042	0,000
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	45,015	31,866	6,198	28,371	45,015	26,687
<b>Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,076	0,133	0,234	0,023	0,953	0,000
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,000	0,005	0,008	0,000	0,026	0,000
<b>V<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,033	0,021	0,020	0,012	0,058	0,000
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,141	0,071	0,092	0,018	0,293	0,000
<b>PbO</b>	0,070	0,044	0,035	0,055	0,093	0,000
<b>BaO</b>	0,094	0,060	0,043	0,077	0,123	0,000
<b>FeO</b>	7,771	12,719	2,347	14,016	14,713	7,771
<b>ZnO</b>	0,078	0,024	0,028	0,014	0,079	0,000
<b>CuO</b>	0,000	0,011	0,020	0,000	0,057	0,000
<b>NiO</b>	0,010	0,004	0,007	0,000	0,028	0,000
<b>CoO</b>	0,000	0,053	0,033	0,064	0,112	0,000
<b>CaO</b>	0,031	0,041	0,025	0,034	0,095	0,009
<b>MgO</b>	0,124	0,042	0,067	0,004	0,217	0,000
<b>Au<sub>2</sub>O</b>	0,000	0,017	0,021	0,010	0,075	0,000
<b>Ag<sub>2</sub>O</b>	0,000	0,010	0,014	0,001	0,047	0,000
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,030	0,010	0,010	0,008	0,030	0,000
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,005	0,005	0,008	0,001	0,027	0,000
<b>Total</b>	99,937					

**Tabela XL.50** – Análises representativas (em wt%) de rútilo e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de rútilo.

	Rútilo							
	Fort.Alt.	Mod.Alt.	Alt.Verm.	Média	Desv.-Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo
	18-3#54c4 (1)	18-5A#40c3 (7)	18-3#21c4 (2)					
WO <sub>3</sub>	0,550	0,212	0,283	0,232	0,195	0,220	0,556	0,000
SO <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,002	0,010	0,000	0,054	0,000
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,118	0,020	0,210	0,059	0,088	0,017	0,376	0,000
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,470	0,106	0,664	0,315	0,185	0,232	0,789	0,106
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,037	0,020	0,051	0,011	0,016	0,002	0,051	0,000
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,022	0,023	0,001	0,009	0,012	0,001	0,041	0,000
SnO <sub>2</sub>	0,318	0,034	0,044	0,082	0,106	0,044	0,318	0,000
ZrO <sub>2</sub>	0,000	0,072	0,120	0,081	0,103	0,058	0,537	0,000
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,016	0,055	0,016	0,020	0,006	0,067	0,000
TiO <sub>2</sub>	96,573	96,857	94,255	95,307	2,763	95,920	98,315	84,603
SiO <sub>2</sub>	0,160	1,196	1,864	1,337	0,993	1,023	4,113	0,160
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,003	0,016	0,000	0,084	0,000
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,016	0,023	0,010	0,010	0,008	0,033	0,000
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,842	0,151	0,063	0,608	0,872	0,353	4,620	0,041
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,023	0,000	0,000	0,034	0,065	0,006	0,229	0,000
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,007	0,024	0,000	0,106	0,000
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,076	0,584	0,743	0,664	0,641	0,497	3,012	0,061
PbO	0,008	0,000	0,000	0,029	0,040	0,005	0,128	0,000
BaO	0,051	0,125	0,011	0,082	0,048	0,082	0,185	0,000
ZnO	0,000	0,029	0,076	0,033	0,041	0,014	0,140	0,000
CuO	0,000	0,000	0,019	0,010	0,017	0,000	0,060	0,000
NiO	0,016	0,014	0,019	0,009	0,012	0,002	0,038	0,000
CoO	0,000	0,006	0,013	0,012	0,016	0,009	0,057	0,000
CaO	0,254	0,080	0,222	0,192	0,156	0,142	0,619	0,025
MgO	0,022	0,045	0,129	0,141	0,243	0,060	1,181	0,000
Au <sub>2</sub> O	0,000	0,000	0,000	0,005	0,025	0,000	0,134	0,000
Ag <sub>2</sub> O	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,011	0,000
K <sub>2</sub> O	0,016	0,245	0,582	0,181	0,190	0,118	0,619	0,000
Na <sub>2</sub> O	0,000	0,012	0,080	0,019	0,024	0,012	0,095	0,000
Total	99,556	99,863	99,526					

**Tabela XI.51** – Análises representativas (em wt%) dos diferentes grupos de pirite definidos.

	<i>Pirite</i>					
	episódio I (el)		episódio II (ell)		Pel	
	Núcleo	Bordo	Núcleo	Bordo	Núcleo	Bordo
	18-3#13c1 (4)	18-4#142c5 (6)	18-3#54C6 (5)	18-3#156C1 (3)	18-5A#51c2 (2)	18-5A#51c3 (3)
<b>W</b>	0,000	0,000	0,000	0,035	0,000	0,057
<b>Mo</b>	0,049	0,061	0,057	0,115	0,078	0,120
<b>Sn</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ge</b>	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>In</b>	0,000	0,022	0,000	0,000	0,015	0,000
<b>Ga</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Pb</b>	0,000	0,102	0,000	0,000	0,124	0,162
<b>Cd</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Zn</b>	0,852	0,622	0,095	0,000	0,027	0,044
<b>Cu</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,342
<b>Ni</b>	0,002	0,016	0,002	0,000	0,017	0,000
<b>Co</b>	0,000	0,027	0,009	0,281	0,015	0,023
<b>Fe</b>	45,749	46,187	46,140	46,177	46,703	42,841
<b>Mn</b>	0,000	0,000	0,022	0,000	0,004	0,102
<b>Au</b>	0,053	0,012	0,091	0,025	0,042	0,000
<b>Ag</b>	0,000	0,000	0,003	0,042	0,000	0,030
<b>Bi</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Te</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013
<b>Sb</b>	0,006	0,008	0,000	0,000	0,014	0,353
<b>Se</b>	0,000	0,006	0,009	0,004	0,000	0,000
<b>As</b>	0,623	0,011	0,177	0,000	0,000	4,028
<b>S</b>	53,112	53,623	53,437	53,388	53,440	50,407
<b>Total</b>	100,449	100,697	100,042	100,067	100,479	98,522

**Tabela XI.52** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) referentes ao núcleo de pirites associadas ao episódio mineralizante precoce.

<b>Pirite: el-Núcleo</b>					
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>W</b>	0,051	0,071	0,011	0,314	0,000
<b>Mo</b>	0,075	0,027	0,077	0,141	0,004
<b>Sn</b>	0,000	0,005	0,000	0,053	0,000
<b>Ge</b>	0,001	0,003	0,000	0,015	0,000
<b>In</b>	0,004	0,011	0,000	0,064	0,000
<b>Ga</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Pb</b>	0,051	0,082	0,028	0,518	0,000
<b>Cd</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Zn</b>	0,221	0,320	0,085	1,290	0,000
<b>Cu</b>	0,065	0,208	0,000	1,225	0,000
<b>Ni</b>	0,024	0,095	0,002	0,844	0,000
<b>Co</b>	0,014	0,020	0,008	0,124	0,000
<b>Fe</b>	46,093	0,477	46,213	46,766	43,791
<b>Mn</b>	0,014	0,069	0,000	0,707	0,000
<b>Au</b>	0,014	0,017	0,006	0,062	0,000
<b>Ag</b>	0,010	0,015	0,000	0,061	0,000
<b>Bi</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Te</b>	0,006	0,011	0,000	0,048	0,000
<b>Sb</b>	0,017	0,057	0,000	0,313	0,000
<b>Se</b>	0,018	0,042	0,002	0,325	0,000
<b>As</b>	0,129	0,284	0,028	1,755	0,000
<b>S</b>	53,221	0,533	53,356	54,100	51,353

**Tabela XI.53** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) referentes ao bordo de pirites associadas ao episódio mineralizante precoce.

<b>Pirite: el-Bordo</b>					
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>W</b>	0,053	0,078	0,000	0,298	0,000
<b>Mo</b>	0,080	0,025	0,080	0,127	0,033
<b>Sn</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ge</b>	0,001	0,003	0,000	0,015	0,000
<b>In</b>	0,009	0,017	0,000	0,070	0,000
<b>Ga</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Pb</b>	0,033	0,039	0,015	0,134	0,000
<b>Cd</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Zn</b>	0,198	0,307	0,046	1,238	0,000
<b>Cu</b>	0,046	0,141	0,000	0,739	0,000
<b>Ni</b>	0,009	0,016	0,000	0,070	0,000
<b>Co</b>	0,012	0,015	0,004	0,047	0,000
<b>Fe</b>	46,135	0,390	46,138	47,277	45,235
<b>Mn</b>	0,015	0,034	0,000	0,205	0,000
<b>Au</b>	0,012	0,017	0,002	0,067	0,000
<b>Ag</b>	0,010	0,015	0,000	0,050	0,000
<b>Bi</b>	0,001	0,004	0,000	0,024	0,000
<b>Te</b>	0,006	0,013	0,000	0,056	0,000
<b>Sb</b>	0,004	0,009	0,000	0,044	0,000
<b>Se</b>	0,007	0,013	0,003	0,075	0,000
<b>As</b>	0,086	0,246	0,032	1,616	0,000
<b>S</b>	53,201	0,531	53,321	53,824	51,127



**Tabela XI.54** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) referentes ao núcleo de pirites associadas ao episódio mineralizante tardio.

<b>Pirite: ell-Núcleo</b>					
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>W</b>	0,034	0,060	0,000	0,249	0,000
<b>Mo</b>	0,080	0,031	0,083	0,151	0,000
<b>Sn</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ge</b>	0,001	0,004	0,000	0,025	0,000
<b>In</b>	0,006	0,017	0,000	0,088	0,000
<b>Ga</b>	0,000	0,002	0,000	0,016	0,000
<b>Pb</b>	0,049	0,051	0,048	0,247	0,000
<b>Cd</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Zn</b>	0,039	0,145	0,000	1,100	0,000
<b>Cu</b>	0,017	0,082	0,000	0,612	0,000
<b>Ni</b>	0,014	0,018	0,005	0,062	0,000
<b>Co</b>	0,028	0,037	0,019	0,171	0,000
<b>Fe</b>	46,036	0,534	46,129	47,159	44,602
<b>Mn</b>	0,006	0,010	0,000	0,040	0,000
<b>Au</b>	0,014	0,019	0,008	0,091	0,000
<b>Ag</b>	0,005	0,009	0,000	0,043	0,000
<b>Bi</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Te</b>	0,003	0,006	0,000	0,023	0,000
<b>Sb</b>	0,004	0,009	0,000	0,037	0,000
<b>Se</b>	0,010	0,013	0,006	0,054	0,000
<b>As</b>	0,088	0,106	0,051	0,517	0,000
<b>S</b>	53,265	0,282	53,306	53,985	52,421

**Tabela XI.55** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) referentes ao bordo de pirites associadas ao episódio mineralizante tardio.

<b>Pirite: ell-Bordo</b>					
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>W</b>	0,082	0,113	0,026	0,347	0,000
<b>Mo</b>	0,084	0,021	0,086	0,116	0,051
<b>Sn</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ge</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>In</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ga</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Pb</b>	0,041	0,065	0,008	0,236	0,000
<b>Cd</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Zn</b>	0,025	0,038	0,002	0,110	0,000
<b>Cu</b>	0,037	0,093	0,000	0,294	0,000
<b>Ni</b>	0,009	0,015	0,001	0,048	0,000
<b>Co</b>	0,041	0,072	0,021	0,281	0,000
<b>Fe</b>	46,265	0,337	46,371	46,798	45,582
<b>Mn</b>	0,006	0,011	0,000	0,033	0,000
<b>Au</b>	0,020	0,016	0,020	0,056	0,000
<b>Ag</b>	0,017	0,017	0,013	0,042	0,000
<b>Bi</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Te</b>	0,002	0,003	0,000	0,009	0,000
<b>Sb</b>	0,001	0,003	0,000	0,012	0,000
<b>Se</b>	0,010	0,013	0,002	0,039	0,000
<b>As</b>	0,052	0,087	0,013	0,291	0,000
<b>S</b>	53,233	0,351	53,377	53,566	52,531

**Tabela XL56** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) referentes ao núcleo de pirites associadas ao episódio mineralizante tardio em contexto metapelítico.

<b>Pirite: Pel-Núcleo</b>					
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>W</b>	0,056	0,101	0,004	0,389	0,000
<b>Mo</b>	0,071	0,027	0,069	0,131	0,023
<b>Sn</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ge</b>	0,001	0,002	0,000	0,009	0,000
<b>In</b>	0,002	0,005	0,000	0,018	0,000
<b>Ga</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Pb</b>	0,069	0,068	0,058	0,205	0,000
<b>Cd</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Zn</b>	0,247	0,397	0,090	1,608	0,000
<b>Cu</b>	0,058	0,241	0,000	1,025	0,000
<b>Ni</b>	0,016	0,014	0,016	0,043	0,000
<b>Co</b>	0,010	0,011	0,004	0,034	0,000
<b>Fe</b>	45,888	0,910	46,155	46,799	43,281
<b>Mn</b>	0,151	0,204	0,021	0,528	0,000
<b>Au</b>	0,015	0,015	0,012	0,049	0,000
<b>Ag</b>	0,008	0,016	0,000	0,060	0,000
<b>Bi</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Te</b>	0,004	0,009	0,000	0,029	0,000
<b>Sb</b>	0,021	0,055	0,000	0,232	0,000
<b>Se</b>	0,005	0,007	0,002	0,023	0,000
<b>As</b>	0,305	0,404	0,260	1,652	0,000
<b>S</b>	53,218	0,529	53,314	53,810	51,307

**Tabela XL57** – Estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) referentes ao bordo de pirites associadas ao episódio mineralizante tardio em contexto metapelítico.

<b>Pirite: Pel-Bordo</b>					
	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>W</b>	0,045	0,042	0,048	0,106	0,000
<b>Mo</b>	0,105	0,020	0,114	0,120	0,072
<b>Sn</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ge</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>In</b>	0,014	0,028	0,000	0,064	0,000
<b>Ga</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Pb</b>	0,032	0,072	0,000	0,162	0,000
<b>Cd</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Zn</b>	0,056	0,028	0,044	0,090	0,024
<b>Cu</b>	0,399	0,193	0,333	0,740	0,259
<b>Ni</b>	0,041	0,030	0,041	0,080	0,000
<b>Co</b>	0,007	0,009	0,003	0,023	0,000
<b>Fe</b>	42,853	0,108	42,841	43,023	42,748
<b>Mn</b>	0,123	0,019	0,115	0,145	0,102
<b>Au</b>	0,001	0,002	0,000	0,005	0,000
<b>Ag</b>	0,030	0,031	0,022	0,084	0,006
<b>Bi</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Te</b>	0,003	0,006	0,000	0,013	0,000
<b>Sb</b>	0,283	0,103	0,297	0,409	0,175
<b>Se</b>	0,006	0,011	0,000	0,026	0,000
<b>As</b>	3,996	0,317	4,108	4,270	3,450
<b>S</b>	50,400	0,093	50,407	50,523	50,275

**Tabela XI.58** – Análise representativa (em wt%) de esfalerite representativa do episódio mineralizante precoce e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de esfalerite representativas do episódio mineralizante precoce.

<b>Esfalerite: episódio I (el)</b>						
	<i>18-4#142c4 (14)</i>	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>W</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Mo</b>	0,100	0,127	0,025	0,128	0,182	0,182
<b>As</b>	0,000	0,006	0,011	0,000	0,044	0,044
<b>Sn</b>	0,000	0,024	0,106	0,000	0,716	0,716
<b>Ge</b>	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
<b>Bi</b>	0,000	0,001	0,008	0,000	0,065	0,065
<b>In</b>	0,000	0,026	0,038	0,009	0,210	0,210
<b>Ga</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Pb</b>	0,000	0,014	0,024	0,000	0,120	0,120
<b>Cd</b>	0,050	0,094	0,038	0,095	0,205	0,205
<b>Zn</b>	61,502	60,958	1,433	61,168	64,756	64,756
<b>Cu</b>	0,026	0,051	0,110	0,020	0,688	0,688
<b>Ni</b>	0,022	0,011	0,016	0,001	0,055	0,055
<b>Co</b>	0,003	0,006	0,009	0,000	0,033	0,033
<b>Fe</b>	4,864	5,006	1,424	4,919	6,943	6,943
<b>Mn</b>	0,096	0,068	0,061	0,065	0,282	0,282
<b>Au</b>	0,000	0,007	0,013	0,000	0,072	0,072
<b>Ag</b>	0,013	0,010	0,016	0,000	0,065	0,065
<b>Te</b>	0,000	0,010	0,015	0,000	0,055	0,055
<b>Sb</b>	0,000	0,014	0,019	0,004	0,086	0,086
<b>Se</b>	0,029	0,008	0,014	0,000	0,069	0,069
<b>S</b>	33,354	33,591	0,253	33,604	34,061	34,061
<b>Total</b>	100,060					

**Tabela XI.59** – Análise representativa (em wt%) de esfaleirte representativa do episódio mineralizante tardio e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de esfalerite representativas do episódio mineralizante tardio.

<b>Esfalerite: episódio II (ell)</b>						
	<i>19-1#63c3 (5)</i>	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>W</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
<b>Mo</b>	0,112	0,112	0,025	0,114	0,170	0,046
<b>As</b>	0,000	0,011	0,015	0,000	0,062	0,000
<b>Sn</b>	0,000	0,053	0,103	0,009	0,672	0,000
<b>Ge</b>	0,000	0,001	0,003	0,000	0,016	0,000
<b>Bi</b>	0,000	0,002	0,009	0,000	0,056	0,000
<b>In</b>	0,000	0,025	0,039	0,003	0,195	0,000
<b>Ga</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Pb</b>	0,003	0,022	0,057	0,000	0,448	0,000
<b>Cd</b>	0,057	0,157	0,119	0,119	0,622	0,000
<b>Zn</b>	63,814	61,971	2,481	62,235	65,919	53,485
<b>Cu</b>	0,240	0,237	0,260	0,145	1,348	0,000
<b>Ni</b>	0,000	0,009	0,015	0,000	0,058	0,000
<b>Co</b>	0,000	0,007	0,011	0,000	0,040	0,000
<b>Fe</b>	2,606	4,020	2,122	3,617	10,108	1,126
<b>Mn</b>	0,047	0,025	0,032	0,015	0,165	0,000
<b>Au</b>	0,000	0,010	0,015	0,000	0,056	0,000
<b>Ag</b>	0,000	0,009	0,016	0,000	0,099	0,000
<b>Te</b>	0,000	0,011	0,018	0,000	0,063	0,000
<b>Sb</b>	0,047	0,015	0,019	0,004	0,080	0,000
<b>Se</b>	0,021	0,013	0,018	0,007	0,075	0,000
<b>S</b>	33,449	33,511	0,191	33,516	34,076	33,035
<b>Total</b>	100,396					

**Tabela XL60** – Análise representativa (em wt%) de galena representativa do episódio mineralizante precoce e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de galena representativas do episódio mineralizante precoce.

<b>Galena: episódio I (el)</b>						
	<i>18-5A#50c5 (2)</i>	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>W</b>	0,000	0,015	0,046	0,000	0,207	0,000
<b>Mo</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>As</b>	0,000	0,005	0,008	0,000	0,027	0,000
<b>Sn</b>	0,000	0,005	0,013	0,000	0,085	0,000
<b>Ge</b>	0,000	0,013	0,013	0,010	0,047	0,000
<b>Bi</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>In</b>	0,000	0,001	0,008	0,000	0,054	0,000
<b>Ga</b>	0,011	0,012	0,015	0,007	0,060	0,000
<b>Pb</b>	85,301	85,402	1,403	85,715	87,606	80,378
<b>Cd</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Zn</b>	0,954	0,417	0,457	0,296	1,690	0,000
<b>Cu</b>	0,083	0,063	0,103	0,029	0,452	0,000
<b>Ni</b>	0,000	0,017	0,022	0,004	0,071	0,000
<b>Co</b>	0,007	0,010	0,014	0,002	0,052	0,000
<b>Fe</b>	0,014	0,611	0,827	0,338	3,974	0,000
<b>Mn</b>	0,000	0,010	0,020	0,000	0,104	0,000
<b>Au</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ag</b>	0,011	0,011	0,020	0,000	0,079	0,000
<b>Te</b>	0,024	0,030	0,030	0,022	0,114	0,000
<b>Sb</b>	0,000	0,020	0,030	0,005	0,150	0,000
<b>Se</b>	0,000	0,033	0,043	0,022	0,200	0,000
<b>S</b>	13,427	13,556	0,321	13,496	14,942	13,160
<b>Total</b>	99,832					



**Tabela XI.61** – Análise representativa (em wt%) de galena representativa do episódio mineralizante tardio e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de galena representativas do episódio mineralizante tardio.

<b>Galena: episódio II (eII)</b>						
	<i>19-1#63c2 (4)</i>	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>W</b>	0,000	0,014	0,053	0,000	0,317	0,000
<b>Mo</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>As</b>	0,021	0,006	0,009	0,000	0,030	0,000
<b>Sn</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
<b>Ge</b>	0,000	0,013	0,016	0,005	0,055	0,000
<b>Bi</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>In</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ga</b>	0,014	0,013	0,014	0,008	0,053	0,000
<b>Pb</b>	85,479	85,528	1,454	85,507	88,284	81,658
<b>Cd</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Zn</b>	0,123	0,199	0,340	0,042	1,209	0,000
<b>Cu</b>	0,054	0,109	0,173	0,045	0,979	0,000
<b>Ni</b>	0,014	0,014	0,024	0,000	0,081	0,000
<b>Co</b>	0,000	0,004	0,007	0,000	0,030	0,000
<b>Fe</b>	0,473	0,288	0,345	0,133	1,847	0,000
<b>Mn</b>	0,018	0,014	0,022	0,000	0,104	0,000
<b>Au</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ag</b>	0,066	0,021	0,063	0,000	0,410	0,000
<b>Te</b>	0,000	0,031	0,037	0,015	0,136	0,000
<b>Sb</b>	0,000	0,063	0,141	0,003	0,746	0,000
<b>Se</b>	1,299	0,458	0,697	0,100	2,391	0,000
<b>S</b>	12,664	13,172	0,441	13,361	13,731	12,015
<b>Total</b>	100,225					

**Tabela XI.62** – Análise representativa (em wt%) de calcopirite representativa do episódio mineralizante precoce e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de calcopirite representativas do episódio mineralizante precoce.

<b>Calcopirite: episódio I (el)</b>						
	<i>18-5A#51c3 (3)</i>	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>W</b>	0,000	0,008	0,028	0,000	0,138	0,000
<b>Mo</b>	0,093	0,100	0,025	0,098	0,154	0,037
<b>As</b>	0,208	0,012	0,033	0,000	0,208	0,000
<b>Sn</b>	0,000	0,001	0,004	0,000	0,024	0,000
<b>Ge</b>	0,000	0,002	0,005	0,000	0,022	0,000
<b>Bi</b>	0,000	0,001	0,008	0,000	0,050	0,000
<b>Sb</b>	0,001	0,005	0,013	0,000	0,063	0,000
<b>In</b>	0,037	0,008	0,014	0,000	0,059	0,000
<b>Ga</b>	0,000	0,008	0,012	0,000	0,046	0,000
<b>Fe</b>	30,173	30,758	0,353	30,867	31,395	29,446
<b>Pb</b>	1,449	0,067	0,220	0,024	1,449	0,000
<b>Cd</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Zn</b>	0,056	0,060	0,144	0,021	0,948	0,000
<b>Cu</b>	32,989	33,141	0,309	33,210	33,567	32,219
<b>Co</b>	0,000	0,008	0,011	0,001	0,035	0,000
<b>Ni</b>	0,044	0,005	0,011	0,000	0,044	0,000
<b>Mn</b>	0,020	0,009	0,011	0,003	0,034	0,000
<b>Au</b>	0,000	0,008	0,014	0,000	0,045	0,000
<b>Ag</b>	0,053	0,015	0,020	0,003	0,086	0,000
<b>Te</b>	0,000	0,005	0,012	0,000	0,054	0,000
<b>Se</b>	0,000	0,005	0,010	0,000	0,032	0,000
<b>S</b>	34,802	34,793	0,129	34,805	35,155	34,521
<b>Total</b>	99,925					

**Tabela XI.63** – Análise representativa (em wt%) de calcopirite representativa do episódio mineralizante tardio e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de calcopirite representativas do episódio mineralizante tardio.

<b>Calcopirite: episódio II (ell)</b>						
	<i>19-1#63c3 (3)</i>	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>W</b>	0,000	0,005	0,024	0,000	0,153	0,000
<b>Mo</b>	0,106	0,098	0,024	0,098	0,163	0,030
<b>As</b>	0,024	0,004	0,009	0,000	0,051	0,000
<b>Sn</b>	0,000	0,020	0,041	0,000	0,197	0,000
<b>Ge</b>	0,000	0,002	0,005	0,000	0,029	0,000
<b>Bi</b>	0,000	0,001	0,003	0,000	0,019	0,000
<b>Sb</b>	0,000	0,006	0,014	0,000	0,076	0,000
<b>In</b>	0,000	0,017	0,032	0,000	0,200	0,000
<b>Ga</b>	0,000	0,006	0,012	0,000	0,054	0,000
<b>Fe</b>	30,677	30,408	0,292	30,403	31,513	29,646
<b>Pb</b>	0,000	0,032	0,039	0,017	0,149	0,000
<b>Cd</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Zn</b>	0,038	0,062	0,070	0,053	0,396	0,000
<b>Cu</b>	33,979	33,879	0,291	33,926	34,434	32,845
<b>Co</b>	0,008	0,006	0,009	0,000	0,042	0,000
<b>Ni</b>	0,000	0,009	0,017	0,000	0,083	0,000
<b>Mn</b>	0,000	0,008	0,012	0,000	0,048	0,000
<b>Au</b>	0,000	0,009	0,013	0,001	0,047	0,000
<b>Ag</b>	0,006	0,014	0,020	0,001	0,075	0,000
<b>Te</b>	0,000	0,008	0,015	0,000	0,067	0,000
<b>Se</b>	0,000	0,009	0,011	0,004	0,041	0,000
<b>S</b>	35,134	35,017	0,157	35,004	35,603	34,578
<b>Total</b>	99,972					

**Tabela XI.64** – Análise representativa (em wt%) de arsenopirite representativa do episódio mineralizante precoce e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de arsenopirite representativas do episódio mineralizante precoce.

<b>Arsenopirite: episódio I (el)</b>						
	<i>18-3#13c3 (1)</i>	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>W</b>	0,000	0,045	0,074	0,010	0,321	0,000
<b>Mo</b>	0,023	0,022	0,017	0,027	0,059	0,000
<b>In</b>	0,000	0,005	0,010	0,000	0,032	0,000
<b>Pb</b>	0,000	0,070	0,138	0,032	0,635	0,000
<b>Cd</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Zn</b>	0,517	0,145	0,233	0,029	0,998	0,000
<b>Cu</b>	0,000	0,039	0,186	0,000	0,892	0,000
<b>Ni</b>	0,000	0,010	0,018	0,000	0,063	0,000
<b>Co</b>	0,004	0,012	0,022	0,002	0,100	0,000
<b>Mn</b>	0,000	0,015	0,021	0,004	0,079	0,000
<b>Fe</b>	35,710	35,676	0,460	35,512	36,472	34,941
<b>Au</b>	0,028	0,016	0,016	0,009	0,050	0,000
<b>Ag</b>	0,000	0,010	0,016	0,001	0,049	0,000
<b>Te</b>	0,000	0,005	0,012	0,000	0,043	0,000
<b>Sb</b>	0,124	0,104	0,117	0,061	0,517	0,000
<b>As</b>	41,656	40,418	0,840	40,625	41,680	38,444
<b>Sn</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Se</b>	0,000	0,004	0,009	0,000	0,031	0,000
<b>Ge</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Bi</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ga</b>	0,000	0,002	0,008	0,000	0,033	0,000
<b>S</b>	21,902	22,389	0,801	22,130	24,295	21,209
<b>Total</b>	99,964					

**Tabela XI.65** – Análise representativa (em wt%) de arsenopirite representativa do episódio mineralizante tardio e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de arsenopirite representativas do episódio mineralizante tardio.

<b>Arsenopirite: episódio II (ell)</b>						
	<i>19-1#63c4 (1)</i>	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>W</b>	0,013	0,053	0,076	0,000	0,164	0,000
<b>Mo</b>	0,031	0,024	0,016	0,031	0,047	0,000
<b>In</b>	0,015	0,010	0,017	0,000	0,048	0,000
<b>Pb</b>	0,096	0,034	0,047	0,000	0,118	0,000
<b>Cd</b>	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	0,000
<b>Zn</b>	0,222	0,168	0,145	0,147	0,495	0,006
<b>Cu</b>	0,000	0,001	0,002	0,000	0,005	0,000
<b>Ni</b>	0,264	0,055	0,082	0,028	0,264	0,000
<b>Co</b>	0,005	0,008	0,007	0,007	0,018	0,000
<b>Mn</b>	0,015	0,019	0,023	0,015	0,070	0,000
<b>Fe</b>	35,070	35,151	0,434	35,070	35,906	34,644
<b>Au</b>	0,026	0,017	0,017	0,012	0,044	0,000
<b>Ag</b>	0,010	0,020	0,024	0,010	0,059	0,000
<b>Te</b>	0,003	0,009	0,025	0,000	0,076	0,000
<b>Sb</b>	0,037	0,874	0,903	0,800	2,271	0,000
<b>As</b>	41,514	41,544	0,769	41,514	42,779	40,507
<b>Sn</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Se</b>	0,192	0,042	0,066	0,006	0,192	0,000
<b>Ge</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Bi</b>	0,000	0,001	0,003	0,000	0,010	0,000
<b>Ga</b>	0,000	0,005	0,015	0,000	0,046	0,000
<b>S</b>	21,592	21,138	0,908	21,220	22,497	19,747
<b>Total</b>	99,105					



**Tabela XI.66** – Análises representativas (em wt%) de tetraedrite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de tetraedrite.

Tetraedrite										
	18-4#142c1 (1)	18-4#144c3 (4)	18-3#56c5 (2)	19-1#63c3 (3)	18-5A#50c2 (2)	Média	Desv.-Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo
<b>Mo</b>	0,078	0,054	0,059	0,000	0,000	0,050	0,047	0,059	0,136	0,000
<b>S</b>	25,410	25,386	26,569	25,801	26,026	25,719	0,621	25,815	26,860	23,104
<b>As</b>	0,184	0,237	6,710	1,711	0,000	2,407	1,706	2,697	6,874	0,000
<b>Sn</b>	0,000	0,000	0,000	0,032	0,000	0,011	0,021	0,000	0,083	0,000
<b>Se</b>	0,000	0,009	0,061	0,039	0,021	0,055	0,040	0,059	0,139	0,000
<b>Ge</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,014	0,000
<b>Bi</b>	0,000	0,000	0,000	0,080	0,000	0,093	0,107	0,056	0,375	0,000
<b>Sb</b>	28,251	28,437	18,744	25,961	27,136	24,937	2,503	24,349	28,925	17,722
<b>In</b>	0,000	0,058	0,000	0,034	0,000	0,004	0,012	0,000	0,058	0,000
<b>Ga</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,010	0,000	0,047	0,000
<b>Fe</b>	4,921	3,366	0,705	4,046	6,080	4,436	1,061	4,751	6,664	0,705
<b>Pb</b>	0,009	0,000	0,031	0,091	0,045	0,017	0,025	0,000	0,091	0,000
<b>Cd</b>	0,000	0,009	0,040	0,000	0,006	0,005	0,011	0,000	0,047	0,000
<b>Zn</b>	3,601	4,315	7,586	3,297	4,017	3,539	1,043	3,104	7,695	2,785
<b>Cu</b>	36,850	37,744	39,245	38,338	34,753	37,710	1,059	37,839	39,434	34,753
<b>Ni</b>	0,030	0,000	0,000	0,021	0,047	0,010	0,016	0,000	0,053	0,000
<b>Co</b>	0,008	0,000	0,008	0,000	0,001	0,005	0,007	0,000	0,028	0,000
<b>Mn</b>	0,000	0,000	0,000	0,033	0,004	0,004	0,009	0,000	0,033	0,000
<b>Au</b>	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,003	0,007	0,000	0,028	0,000
<b>Ag</b>	1,448	0,285	0,008	0,584	2,179	0,753	0,627	0,581	2,600	0,003
<b>Total</b>	100,790	99,900	99,775	100,068	100,315					

**Tabela XI.67** – Análises representativas (em wt%) de bournonite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de bournonite.

<b>Bournonite</b>							
	18-4#144c4 (7)	19-1#63c2 (6)	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>W</b>	0,000	0,000	0,021	0,084	0,000	0,412	0,000
<b>Mo</b>	0,025	0,001	0,006	0,010	0,000	0,041	0,000
<b>Sn</b>	0,000	0,000	0,009	0,017	0,000	0,070	0,000
<b>Ge</b>	0,036	0,000	0,009	0,014	0,000	0,047	0,000
<b>Sb</b>	24,426	23,025	24,246	0,722	24,537	24,979	22,784
<b>As</b>	0,000	0,000	0,009	0,036	0,000	0,214	0,000
<b>In</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ga</b>	0,000	0,000	0,010	0,015	0,000	0,050	0,000
<b>Fe</b>	0,341	0,710	0,367	0,296	0,270	1,200	0,044
<b>Pb</b>	41,940	42,641	42,335	0,444	42,354	43,166	41,383
<b>Zn</b>	0,000	0,304	0,159	0,259	0,041	0,884	0,000
<b>Cu</b>	12,967	13,170	12,993	0,197	12,967	13,827	12,617
<b>Ni</b>	0,000	0,000	0,006	0,016	0,000	0,078	0,000
<b>Co</b>	0,000	0,012	0,005	0,010	0,000	0,034	0,000
<b>Mn</b>	0,003	0,000	0,009	0,015	0,000	0,061	0,000
<b>Ag</b>	0,000	0,000	0,002	0,006	0,000	0,027	0,000
<b>Se</b>	0,038	0,457	0,158	0,243	0,024	0,778	0,000
<b>S</b>	19,900	19,269	19,727	0,262	19,786	20,000	18,863
<b>Total</b>	99,676	99,589					

**Tabela XL.68** – Análises representativas (em wt%) de fases da série cobaltite-gersdorfite e estatística descritiva dos dados de química mineral (em wt%) para a totalidade das análises de fases da série cobaltite-gersdorfite.

<b>Cobaltite-Gersdorfite</b>							
	18-4#156c5 (2)	18-4#156c5 (1)	<i>Média</i>	<i>Desv.-Pad.</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<b>W</b>	0,004	0,000	0,023	0,042	0,000	0,107	0,000
<b>Mo</b>	0,044	0,042	0,037	0,020	0,040	0,071	0,008
<b>In</b>	0,000	0,000	0,008	0,021	0,000	0,056	0,000
<b>Pb</b>	0,118	0,000	0,255	0,611	0,012	1,638	0,000
<b>Cd</b>	0,015	0,000	0,009	0,015	0,000	0,041	0,000
<b>Zn</b>	0,061	0,000	0,022	0,029	0,000	0,061	0,000
<b>Cu</b>	0,031	0,007	0,015	0,022	0,007	0,057	0,000
<b>Ni</b>	7,821	26,182	10,561	6,935	7,821	26,182	6,760
<b>Co</b>	21,882	2,870	18,216	6,905	20,865	22,367	2,870
<b>Mn</b>	0,006	0,000	0,002	0,004	0,000	0,009	0,000
<b>Fe</b>	7,054	6,358	7,511	0,900	7,327	8,641	6,358
<b>Au</b>	0,000	0,000	0,004	0,006	0,000	0,014	0,000
<b>Ag</b>	0,000	0,000	0,015	0,014	0,012	0,033	0,000
<b>Te</b>	0,050	0,100	0,028	0,037	0,010	0,100	0,000
<b>Sb</b>	0,137	0,933	0,188	0,331	0,063	0,933	0,000
<b>As</b>	42,218	42,320	42,070	0,435	42,139	42,764	41,476
<b>Sn</b>	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,009	0,000
<b>Se</b>	0,000	0,040	0,010	0,017	0,000	0,040	0,000
<b>Ge</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Bi</b>	0,025	0,000	0,006	0,010	0,000	0,025	0,000
<b>Ga</b>	0,000	0,000	0,003	0,008	0,000	0,020	0,000
<b>S</b>	20,590	19,458	20,390	0,582	20,325	21,335	19,458
<b>Total</b>	100,056	98,310					

### XI.3 Litogeoquímica de rocha total

#### XI.3.1. Condições de análise e limites de detecção

**Tabela XI.69** – Informação referente às condições de análise para os dados obtidos com recurso ao equipamento Zetium (4 kW) – Malvern Panalytical.

Channel	Line	X-tal	Collimator	Detector	Tube filter	kV	mA	Angle (°2T)	Offset Bg1 (°2T)	Offset Bg2 (°2T)	PHD1 LL	PHD1 UL	Originator
I	KA	LiF 220	150 µm	Scint.	Brass (400 µm)	60	66	17,4954	-0,357		30	64	Pro-Trace
Te	KA	LiF 220	150 µm	Scint.	Brass (400 µm)	60	66	18,216			30	64	Pro-Trace
Sb	KA	LiF 220	150 µm	Scint.	Brass (400 µm)	60	66	19,0006	-0,3734		30	64	Pro-Trace
Sn	KA	LiF 220	150 µm	Scint.	Brass (400 µm)	60	66	19,8316		0,55	30	64	Pro-Trace
Cd	KA	LiF 220	150 µm	Scint.	Brass (400 µm)	60	66	21,6832		0,5694	35	64	Pro-Trace
Ag	KA	LiF 220	150 µm	Scint.	Brass (400 µm)	60	66	22,684			30	64	Pro-Trace
Rh	KA	PX10	150 µm	Scint.	None	60	66	17,5422			30	70	Pro-Trace
Rh1	KA-C	PX10	150 µm	Scint.	None	60	66	18,4392			30	70	Pro-Trace
Mo	KA	PX10	150 µm	Scint.	Al (750 µm)	60	66	20,3028	-0,8508	0,5552	35	69	Pro-Trace
Nb	KA	PX10	150 µm	Scint.	Al (750 µm)	60	66	21,3702			35	69	Pro-Trace
Th	LB1	PX10	150 µm	Scint.	Al (750 µm)	60	66	21,894			35	69	Pro-Trace
Zr	KA	PX10	150 µm	Scint.	Al (750 µm)	60	66	22,526	0,5378		35	69	Pro-Trace
Y	KA	PX10	150 µm	Scint.	Al (750 µm)	60	66	23,7786			35	69	Pro-Trace
Sr	KA	PX10	150 µm	Scint.	Al (750 µm)	60	66	25,1248	-0,6746	0,5904	35	69	Pro-Trace
U	LA	LiF 220	150 µm	Scint.	Al (750 µm)	60	66	37,2932			35	69	Pro-Trace
Rb	KA	PX10	150 µm	Scint.	Al (750 µm)	60	66	26,5966	2,888		35	69	Pro-Trace
Pb	LB1	LiF 220	150 µm	Scint.	Al (750 µm)	60	66	40,378	-3,6737	1,8335	35	69	Pro-Trace
Tl	LB1	LiF 220	150 µm	Scint.	Al (750 µm)	60	66	41,772			35	69	Pro-Trace
Br	KA	LiF 220	150 µm	Scint.	Al (750 µm)	60	66	42,8532			35	69	Pro-Trace
As	KB	LiF 220	150 µm	Scint.	Al (750 µm)	60	66	43,6086	5,996		35	69	Pro-Trace
Au	LB1	LiF 220	150 µm	Scint.	Al (750 µm)	60	66	44,744			35	69	Pro-Trace
Se	KA	LiF 220	150 µm	Scint.	Al (750 µm)	60	66	45,6892			35	69	Pro-Trace
Bi	LA	LiF 220	150 µm	Scint.	Al (750 µm)	60	66	47,37			35	69	Pro-Trace
Hg	LA	PX10	150 µm	Scint.	Al (200 µm)	60	66	35,8846			30	73	Pro-Trace
Ge	KA	PX10	150 µm	Scint.	Al (200 µm)	60	66	36,3054	-0,6852	3,2168	30	73	Pro-Trace
Pt	LA	PX10	150 µm	Scint.	Al (200 µm)	60	66	38,09	1,4114		30	73	Pro-Trace
Ga	KA	PX10	150 µm	Scint.	Al (200 µm)	60	66	38,8996			30	73	Pro-Trace
Hf	LB1	PX10	150 µm	Scint.	Al (200 µm)	60	66	39,8954	0,9676		30	73	Pro-Trace
Zn	KA	PX10	150 µm	Scint.	Al (200 µm)	60	66	41,7836	-0,8934	0,6886	30	73	Pro-Trace
W	LA	PX10	150 µm	Duplex	Al (200 µm)	60	66	43,0082	-0,5364		20	61	Pro-Trace
Ta	LA	PX10	150 µm	Duplex	Al (200 µm)	60	66	44,3988			20	61	Pro-Trace
Cu	KA	PX10	150 µm	Duplex	Al (200 µm)	60	66	45,0092	-2,5436	1,7954	20	61	Pro-Trace
Ni	KA	PX10	150 µm	Duplex	Al (200 µm)	60	66	48,6568	-1,8502	1,2718	20	61	Pro-Trace
Yb	LA	PX10	150 µm	Duplex	Al (200 µm)	60	66	49,058			20	61	Pro-Trace
Fe1	KB	PX10	300 µm	Duplex	None	60	66	51,7416			17	65	Pro-Trace
Co	KA	PX10	150 µm	Duplex	None	60	66	52,7922	0,8756		20	60	Pro-Trace
Gd	LB1	PX10	150 µm	Duplex	None	60	66	54,5984			20	60	Pro-Trace
Fe	KA	LiF 220	150 µm	Duplex	None	60	66	85,7542	-3,762	4,582	20	60	Pro-Trace
Mn	KA	LiF 220	150 µm	Duplex	None	60	66	95,2526	-2,2636	3,1564	15	60	Pro-Trace
Sm	LA	LiF 220	300 µm	Duplex	None	60	66	101,232	-0,7692	1,4808	15	60	Pro-Trace
Cr	KA	LiF 220	300 µm	Duplex	None	50	80	107,1962	-1,2458	3,0002	10	60	Pro-Trace
Ce	LB1	LiF 220	300 µm	Duplex	None	50	80	111,7408	-1,5356		10	60	Pro-Trace
Nd	LA	LiF 220	300 µm	Duplex	None	50	80	112,7878	1,6246		10	60	Pro-Trace
V	KA	LiF 220	300 µm	Duplex	None	50	80	123,2688	3,0796		10	60	Pro-Trace
Ti1	KB	PX10	300 µm	Duplex	None	50	80	77,028			10	65	Pro-Trace
La	LA	PX10	150 µm	Flow	None	50	80	82,919	-0,7432		30	60	Pro-Trace
Ti	KA	PX10	300 µm	Flow	None	40	100	86,161	-1,754		30	60	Pro-Trace
Ba	LA	PX10	300 µm	Flow	None	40	100	87,1688	1,4048		10	61	Pro-Trace
Cs	LA	PX10	300 µm	Flow	None	40	100	91,8548	-2,0224	3,2886	10	61	Pro-Trace
Sc	KA	PX10	300 µm	Flow	None	40	100	97,7286	-1,7926		10	65	Pro-Trace
Ca	KA	PX10	150 µm	Flow	None	40	100	113,1028	-4,978		30	65	Pro-Trace
K	KA	PX10	300 µm	Flow	None	40	100	136,6768	3,162		30	65	Pro-Trace
Cl	KA	Ge 111-C	300 µm	Flow	None	32	125	92,7384	-1,4642	1,5658	30	65	Pro-Trace
S	KA	Ge 111-C	700 µm	Flow	None	32	125	110,6028	-1,9198	4,9502	30	65	Pro-Trace
P	KA	Ge 111-C	700 µm	Flow	None	32	125	140,959	-7,7304	4,9586	30	65	Pro-Trace
Si	KA	PE 002-C	300 µm	Flow	None	32	125	109,0646	-4,0174		30	70	Pro-Trace
Al	KA	PE 002-C	300 µm	Flow	None	32	125	144,896	-6,8274		30	70	Pro-Trace
Mg	KA	PX1	700 µm	Flow	None	32	125	22,8634	-1,0884	2,7826	30	70	Pro-Trace
Na	KA	PX1	700 µm	Flow	None	32	125	28,1016	-1,9642	3,0678	30	70	Pro-Trace
F	KA	PX1	700 µm	Flow	None	32	125	43,852	2,6862		30	70	Pro-Trace

**Tabela XI.70** – Limites de detecção para análises obtidas com recurso a FRX.

Limites de detecção (ppm)			
<b>Ag</b>	2,87	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	32,75
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	23,45	<b>Nb</b>	0,33
<b>As</b>	3,10	<b>Nd</b>	3,85
<b>Ba</b>	9,80	<b>Ni</b>	0,56
<b>Bi</b>	1,11	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	
<b>Br</b>	0,53	<b>Pb</b>	0,81
<b>CaO</b>	16,57	<b>Rb</b>	0,31
<b>Cd</b>	1,89	<b>S</b>	10,50
<b>Ce</b>	7,10	<b>Sb</b>	1,62
<b>Cl</b>	3,81	<b>Sc</b>	2,14
<b>Co</b>	1,90	<b>Se</b>	0,62
<b>Cr</b>	1,06	<b>SiO<sub>2</sub></b>	220,36
<b>Cs</b>	3,17	<b>Sm</b>	3,23
<b>Cu</b>	0,50	<b>Sn</b>	2,10
<b>F</b>	63,00	<b>Sr</b>	0,21
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	7,72	<b>Ta</b>	1,55
<b>Ga</b>	0,34	<b>Te</b>	2,28
<b>Gd</b>	2,40	<b>Th</b>	1,04
<b>Ge</b>	0,33	<b>TiO<sub>2</sub></b>	9,91
<b>Hf</b>	1,45	<b>Tl</b>	0,86
<b>Hg</b>	7,71	<b>U</b>	0,62
<b>I</b>	2,70	<b>V</b>	1,61
<b>K<sub>2</sub>O</b>		<b>W</b>	0,98
<b>La</b>	6,38	<b>Y</b>	0,35
<b>MgO</b>	67,81	<b>Yb</b>	1,35
<b>Mn</b>	2,48	<b>Zn</b>	0,45
<b>Mo</b>	0,21	<b>Zr</b>	0,26



**Tabela XI.71** – Informação referente aos métodos de análise e respectivos limites de detecção utilizados para as amostras de minério (semi-)maciço.

Elemento	Método	Unidade	Limite Detecção	Elemento	Método	Unidade	Limite Detecção
Ag	ME-4ACD81	ppm	0.5	Dy	ME-MS81	ppm	0.05
As	ME-ICPORE	%	0.005	Er	ME-MS81	ppm	0.03
Bi	ME-ICPORE	%	0.005	Eu	ME-MS81	ppm	0.02
CaO	ME-ICP06	%	0.01	Ga	ME-MS81	ppm	0.1
Cd	ME-4ACD81	ppm	0.5	Gd	ME-MS81	ppm	0.05
Co	ME-4ACD81	ppm	1	Ge	ME-MS81	ppm	5
Cr	ME-MS81	ppm	10	Hf	ME-MS81	ppm	0.1
Cu	ME-ICPORE	%	0.001	Ho	ME-MS81	ppm	0.01
Fe2O3	ME-ICP06	%	0.01	La	ME-MS81	ppm	0.1
Hg	ME-ICPORE	ppm	8	Lu	ME-MS81	ppm	0.01
MgO	ME-ICP06	%	0.01	Nb	ME-MS81	ppm	0.1
Mn	ME-ICPORE	%	0.005	Nd	ME-MS81	ppm	0.1
Mo	ME-4ACD81	ppm	1	Pr	ME-MS81	ppm	0.02
Ni	ME-4ACD81	ppm	1	Rb	ME-MS81	ppm	0.2
P2O5	ME-ICP06	%	0.01	Sm	ME-MS81	ppm	0.03
Pb	ME-ICPORE	%	0.005	Sn	ME-MS81	ppm	1
S	ME-ICPORE	%	0.05	Ta	ME-MS81	ppm	0.1
Sb	ME-ICPORE	%	0.005	Tb	ME-MS81	ppm	0.01
Tl	ME-MS42	ppm	0.02	Th	ME-MS81	ppm	0.05
Zn	ME-ICPORE	%	0.002	Tm	ME-MS81	ppm	0.01
SiO2	ME-ICP06	%	0.01	U	ME-MS81	ppm	0.05
Al2O3	ME-ICP06	%	0.01	V	ME-MS81	ppm	5
Na2O	ME-ICP06	%	0.01	W	ME-MS81	ppm	1
K2O	ME-ICP06	%	0.01	Y	ME-MS81	ppm	0.1
TiO2	ME-ICP06	%	0.01	Yb	ME-MS81	ppm	0.03
Sr	ME-MS81	ppm	0.1	Zr	ME-MS81	ppm	2
Ba	ME-MS81	ppm	0.5	In	ME-MS42	ppm	0.005
LOI	OA-GRA05	%	0.01	Re	ME-MS42	ppm	0.001
Total	TOT-ICP06	%	0.01	Se	ME-MS42	ppm	0.2
C	C-IR07	%	0.01	Te	ME-MS42	ppm	0.01
Ce	ME-MS81	ppm	0.1	Li	ME-4ACD81	ppm	10
Cs	ME-MS81	ppm	0.01	Sc	ME-4ACD81	ppm	1

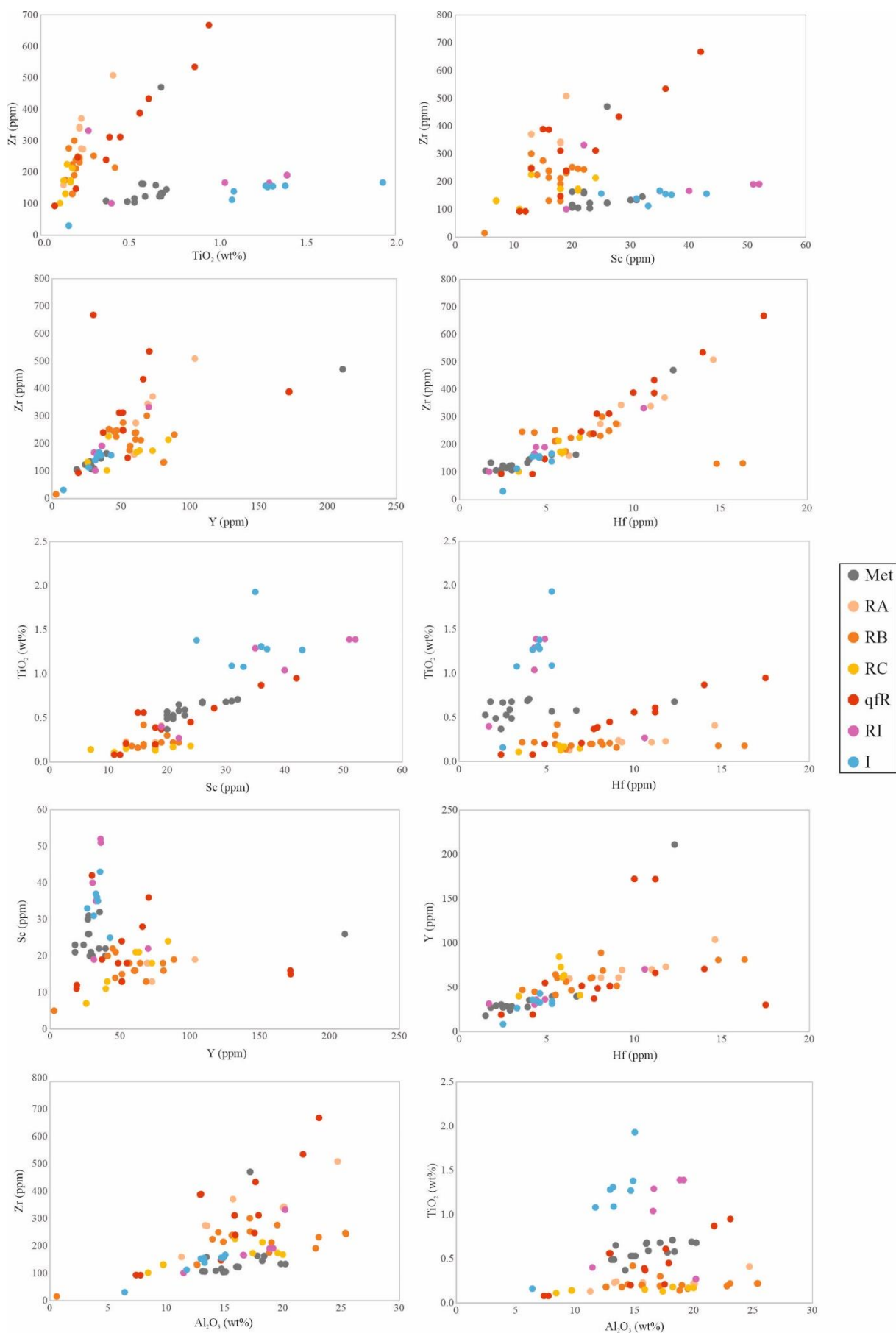
**Tabela XI.72** – Informação referente à metodologia de preparação de amostras e aos procedimentos analíticos utilizados para as amostras de minério (semi-)maciço.

SAMPLE PREPARATION		
ALS CODE	DESCRIPTION	
WEI-21	Received Sample Weight	
LOG-22	Sample login - Rcd w/o BarCode	
LOG-QC	QC Test on Received Samples	
PUL-42	Pulverize 50g Agate Mill 85%<75um	
PUL-QC	Pulverizing QC Test	
LOG-24	Pulp Login - Rcd w/o Barcode	

ANALYTICAL PROCEDURES		
ALS CODE	DESCRIPTION	INSTRUMENT
C-IR07	Total Carbon (IR Spectroscopy)	LECO
S-IR08	Total Sulphur (IR Spectroscopy)	LECO
ME-MS81	Lithium Borate Fusion ICP-MS	ICP-MS
ME-MS42	Up to 34 elements by ICP-MS	ICP-MS
OA-GRA05	Loss on Ignition at 1000C	WST-SEQ
TOT-ICP06	Total Calculation for ICP06	
ME-4ACD81	Base Metals by 4-acid dig.	ICP-AES
ME-ICP06	Oxidizing Digestion w/ ICP-AES Finish	ICP-AES
ME-ICP06	Whole Rock Package - ICP-AES	ICP-AES

### *XI.3.2. Teste à imobilidade (encaixantes)*



**Figura XL4** – Projecções Zr vs.  $\text{TiO}_2$ , Zr vs. Sc, Zr vs. Y, Zr vs. Hf,  $\text{TiO}_2$  vs. Sc,  $\text{TiO}_2$  vs. Hf, Sc vs. Y, Y vs. Hf, Zr vs.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  vs.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  para a totalidade das análises de unidades metavulcânicas *s.l.*, intrusivas e metapelíticas, obtidas com FRX, de forma a testar a imobilidade dos elementos. Note-se que *Met* refere-se a amostras de fácies metapelíticas.

### XI.3.3. Comparação FRX-P e FRX

**Tabela XI.73** – Estatística descritiva permitindo comparar os resultados obtidos com FRX-P e FRX referentes a análises representativas da fácies “química” RA.

Elemento			Média	Desv.Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo	n
RA	SiO <sub>2</sub>	wt %	48,53	31,23	48,53	70,61	26,45	2
			42,93	14,21	33,25	59,80	30,25	7
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		16,56	4,12	16,56	19,47	13,64	2
			16,94	4,79	15,72	24,70	11,30	7
	FeO		4,69	3,64	4,69	7,27	2,12	2
			6,25	2,40	6,28	11,29	4,50	7
	K <sub>2</sub> O		0,54	-	0,54	0,54	0,54	1
			2,65	1,76	3,51	3,58	0,01	4
	MgO		16,71	19,54	16,71	30,52	2,90	2
			19,49	12,56	25,13	31,38	4,80	7
	MnO		0,05	0,03	0,05	0,06	0,03	2
			0,06	0,07	0,04	0,20	0,02	7
	CaO		2,19	0,86	2,19	2,80	1,58	2
			7,27	6,24	4,76	14,77	0,68	7
	TiO <sub>2</sub>		0,22	0,03	0,22	0,23	0,20	2
			0,24	0,08	0,23	0,41	0,13	7
	Zr	ppm	276,17	16,26	276,17	287,67	264,67	2
			324,20	107,06	339,20	508,20	159,50	7
	8282,50		11340,34	8282,50	16301,33	263,67	2	
	1364,29		2263,34	745,00	6398,00	0,01	7	
	Zn		101,67	55,63	101,67	141,00	62,33	2
			125,00	60,07	115,40	190,20	64,60	7
	Pb		15,33	-	15,33	15,33	15,33	1
			24,96	17,92	24,70	49,50	4,80	7
	Cu		8,00	-	-	-	-	1
			32,68	68,56	5,25	172,60	2,40	6
	As		2,00	-	-	-	-	1
			14,25	9,69	14,25	21,10	7,40	2
Ni	-		-	-	-	-	-	
	4,59		1,95	5,10	6,70	1,40	7	
				FRX-P		FRX		

FRX-P

FRX

**Tabela XI.74** – Estatística descritiva permitindo comparar os resultados obtidos com FRX-P e FRX referentes a análises representativas da fácies “química” RB.

Elemento			Média	Desv.Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo	n
RB	SiO <sub>2</sub>	wt %	65,65	9,38	66,83	92,05	31,75	92
			67,00	9,17	66,76	89,18	54,31	17
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		15,62	4,18	15,12	30,45	0,56	92
			16,99	5,90	17,16	25,41	0,59	17
	FeO		2,73	1,47	2,40	7,19	0,51	92
			4,11	2,54	3,35	10,76	1,14	17
	K <sub>2</sub> O		2,62	1,54	2,52	9,12	0,12	84
			2,89	1,88	2,35	6,85	0,15	17
	MgO		3,53	1,91	3,69	9,00	0,47	74
			3,73	2,30	4,37	8,57	0,37	17
	MnO		0,05	0,06	0,03	0,41	0,01	91
			0,03	0,02	0,02	0,11	0,01	17
	CaO		0,55	0,61	0,36	3,32	0,01	70
			1,39	1,01	1,26	3,39	0,20	17
	TiO <sub>2</sub>		0,31	0,08	0,30	0,49	0,07	90
			0,21	0,07	0,20	0,42	0,14	16
	Zr	ppm	252,58	72,44	245,50	442,67	37,00	90
			210,05	67,39	231,60	300,40	15,10	17
	2419,04		6771,84	641,33	58324,33	36,00	85	
	1891,36		2793,64	391,00	9498,00	0,01	17	
	Zn		87,69	105,71	61,17	826,67	14,33	92
			563,62	1301,18	64,60	4023,80	21,40	17
	Pb		28,47	50,29	18,67	368,00	2,00	83
			36,02	39,64	24,60	138,20	5,80	17
	Cu		127,24	1002,06	13,00	8863,33	0,00	78
			9,00	13,52	5,10	57,00	1,10	15
	As		36,36	180,43	6,17	1229,33	1,33	46
			30,79	31,89	16,00	109,40	4,10	17
Ni	15,08		12,72	11,00	54,33	4,67	57	
	9,04		9,84	4,50	33,50	2,20	17	

FRX-P

FRX

FRX-P

FRX



**Tabela XL75** – Estatística descritiva permitindo comparar os resultados obtidos com FRX-P e FRX referentes a análises representativas da fácies “química” RC.

Elemento			Média	Desv.Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo	n
RC	SiO2	wt %	64,97	8,95	66,89	81,21	47,68	17
			62,96	10,06	65,16	81,27	49,96	8
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		16,05	4,80	14,50	27,32	8,73	17
			14,87	4,80	16,65	20,00	8,42	8
	FeO		3,37	4,41	1,91	19,25	0,55	17
			8,18	9,34	2,91	23,17	2,16	8
	K <sub>2</sub> O		2,27	1,13	2,10	4,69	0,11	14
			1,86	1,25	2,49	3,05	0,21	8
	MgO		4,01	2,02	4,12	8,33	0,65	14
			4,36	2,28	3,83	9,01	1,27	8
	MnO		0,04	0,03	0,03	0,14	0,01	17
			0,03	0,02	0,02	0,06	0,01	8
	CaO		0,41	0,47	0,19	1,29	0,02	12
			1,65	1,59	1,10	4,04	0,37	8
	TiO <sub>2</sub>		0,21	0,07	0,20	0,36	0,09	17
			0,15	0,02	0,15	0,18	0,11	8
	Zr	ppm	168,59	71,97	159,00	352,00	78,00	17
			164,70	42,17	170,55	225,40	101,50	8
	S		768,19	716,87	509,00	2419,00	58,50	15
			1414,15	3136,47	0,06	9075,00	0,01	8
	Zn		112,53	198,56	64,00	873,00	15,00	17
			82,54	63,19	50,50	184,50	35,10	8
	Pb		28,24	45,95	13,00	185,00	5,00	15
			20,06	11,45	25,55	27,40	1,10	8
Cu	13,09		8,54	11,33	34,33	4,00	11	
	8,15		6,37	5,40	19,20	2,20	8	
As	4,22		3,07	3,33	10,00	1,67	6	
	61,50		75,09	61,50	114,60	8,40	2	
Ni	16,55		12,69	13,50	42,00	5,00	7	
	10,01		11,18	3,75	28,30	2,70	8	

FRX-P

FRX

**Tabela XI.76** – Estatística descritiva permitindo comparar os resultados obtidos com FRX-P e FRX referentes a análises representativas da fácies “química” qfR.

Elemento			Média	Desv.Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo	n
qfR	SiO <sub>2</sub>	wt %	62,86	11,68	65,77	78,42	26,16	33
			61,78	5,95	59,56	72,02	54,38	12
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		16,19	4,07	15,74	23,65	7,76	33
			15,45	4,77	15,88	23,09	7,40	12
	FeO		3,81	2,26	3,48	14,42	0,66	33
			8,70	8,32	5,30	26,34	2,60	12
	K <sub>2</sub> O		2,97	1,62	3,07	5,47	0,07	31
			2,30	8,32	5,30	26,34	2,60	12
	MgO		2,99	3,76	2,07	19,18	0,45	28
			3,47	8,32	5,30	26,34	2,60	12
	MnO		0,06	0,06	0,04	0,24	0,01	33
			0,04	0,02	0,04	0,08	0,01	12
	CaO		0,68	0,43	0,58	1,76	0,14	29
			1,86	1,54	1,16	5,13	0,65	12
	TiO <sub>2</sub>		0,60	0,20	0,57	1,09	0,26	33
			0,44	0,28	0,42	0,95	0,08	12
	Zr	ppm	322,40	149,39	274,33	713,33	84,67	33
			321,26	174,21	311,60	667,60	92,90	12
	4217,69		9689,39	829,67	46280,50	88,33	23	
	10491,85		21868,58	355,50	57555,00	0,01	12	
	Zn		109,96	109,58	87,00	667,50	35,00	33
			196,70	193,18	116,20	626,00	39,40	12
	Pb		46,89	92,72	20,67	501,00	4,67	33
			96,31	136,76	28,25	437,80	2,30	12
	Cu		37,25	93,22	16,67	526,00	4,00	32
			22,67	36,65	13,45	137,40	1,40	12
	As		7,04	5,59	5,67	20,33	1,33	26
			16,63	12,31	14,30	37,30	3,50	11
Ni	15,79		11,41	13,17	53,00	5,33	24	
	5,94		2,85	5,80	12,50	2,40	12	

FRX-PFRX

FRX-P

FRX

**Tabela XI.77** – Estatística descritiva permitindo comparar os resultados obtidos com FRX-P e FRX referentes a análises representativas da fácies “química” RI.

Elemento			Média	Desv.Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo	n
RI	SiO <sub>2</sub>	wt %	52,84	8,02	50,27	68,13	42,73	12
			58,37	9,57	53,78	74,43	50,03	6
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		16,16	3,11	16,88	20,92	10,11	12
			17,15	3,13	17,75	20,19	11,48	6
	FeO		5,54	2,01	5,61	8,96	2,34	12
			6,60	2,45	6,48	10,45	2,76	6
	K <sub>2</sub> O		2,26	1,61	1,50	5,95	1,02	10
			3,22	1,08	3,38	4,30	1,98	6
	MgO		5,20	3,15	3,76	11,09	2,20	12
			7,90	3,05	8,85	8,85	10,98	6
	MnO		0,06	0,04	0,05	0,17	0,02	12
			0,02	0,00	0,02	0,03	0,02	6
	CaO		2,96	3,41	1,46	10,40	0,10	12
			2,50	2,00	2,72	5,88	0,39	6
	TiO <sub>2</sub>		1,10	0,25	1,14	1,43	0,56	12
			0,96	0,50	1,17	1,39	0,27	6
	Zr	ppm	154,78	37,93	150,50	227,67	95,00	12
			191,02	76,44	178,45	331,90	100,90	6
	1385,40		1357,05	1064,00	4143,00	144,33	10	
	683,33		1028,87	38,84	2023,00	0,03	6	
	Zn		110,94	61,88	88,17	246,00	65,00	12
			75,47	19,03	79,40	93,20	39,50	6
	Pb		37,07	50,06	9,33	141,00	2,00	9
			22,62	36,41	5,30	94,80	1,90	6
	Cu		24,76	16,21	25,33	55,67	4,33	11
			24,83	17,44	22,25	46,00	5,10	6
	As		24,78	15,73	20,83	48,33	1,67	12
			43,84	49,03	27,30	130,90	14,70	5
	Ni		45,53	28,69	37,50	104,33	13,00	12
			54,37	25,78	65,20	71,60	3,10	6

FRX-PFRX

**Tabela XL78** – Estatística descritiva permitindo comparar os resultados obtidos com FRX-P e FRX referentes a análises representativas da fácies “química” I

Elemento			Média	Desv.Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo	n	
I	SiO <sub>2</sub>	wt %	49,84	3,70	49,67	57,91	41,86	21	
			46,98	2,52	47,09	50,92	43,03	8	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		16,69	1,58	16,78	19,53	12,30	21	
			12,78	2,82	13,24	15,05	6,41	8	
	FeO		6,45	1,52	6,72	8,74	2,75	21	
			12,00	4,11	11,09	21,77	8,10	8	
	K <sub>2</sub> O		0,77	1,49	0,18	4,61	0,01	9	
			0,15	0,17	0,08	0,52	0,03	8	
	MgO		5,74	2,05	5,58	9,11	1,27	21	
			9,06	3,66	10,17	14,42	2,09	8	
	MnO		0,10	0,04	0,10	0,16	0,02	21	
			0,08	0,02	0,08	0,10	0,04	8	
	CaO		5,77	2,79	6,09	11,10	1,35	21	
			9,76	4,09	8,73	19,20	5,20	8	
	TiO <sub>2</sub>		1,29	0,21	1,27	1,73	0,73	21	
			1,19	0,49	1,28	1,93	0,16	8	
	Zr		ppm	152,38	16,53	153,17	189,67	125,00	16
				133,76	44,99	154,10	167,20	30,30	8
	1085,18			2312,20	336,67	9732,00	35,67	17	
	6633,68			18583,57	0,20	52625,00	0,01	8	
	Zn	85,62		16,59	85,33	118,33	55,67	21	
		75,89		28,87	80,25	104,40	7,90	8	
	Pb	12,89		32,07	3,33	128,33	2,00	15	
		3,68		1,92	3,15	6,40	1,20	8	
	Cu	30,21		10,41	32,33	44,67	7,00	21	
		145,26		355,27	24,30	1024,20	8,50	8	
	As	27,70		26,49	20,17	123,33	4,33	20	
		10,67		10,10	6,30	25,80	3,40	7	
	Ni	35,87		17,05	37,33	80,00	5,33	21	
		32,09		23,45	26,45	85,70	13,50	8	

FRX-P

FRX

FRX-P

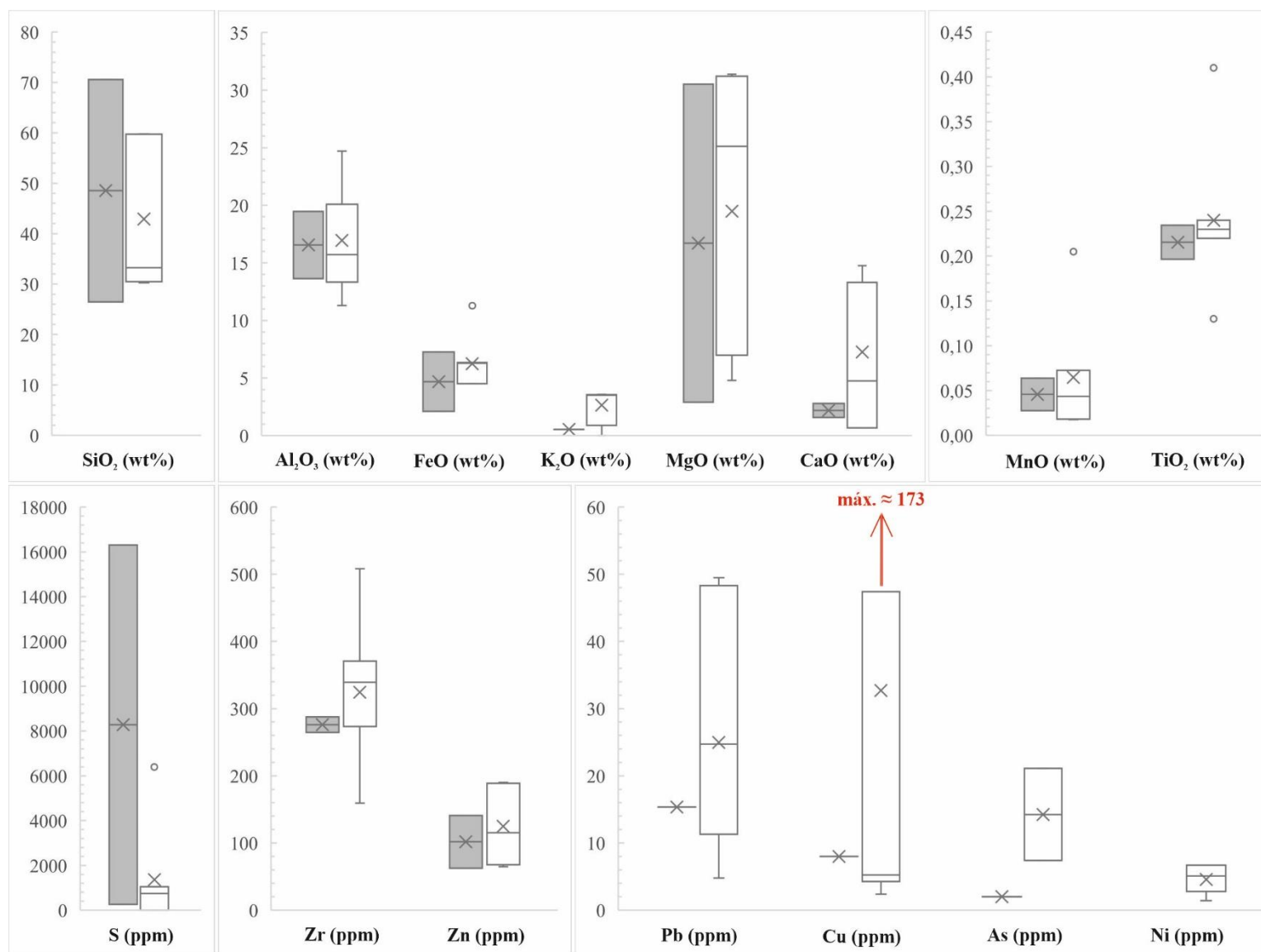
FRX

**Tabela XI.79** – Estatística descritiva permitindo comparar os resultados obtidos com FRX-P e FRX referentes a análises representativas de fácies metapelíticas (tipo MVC, MBc, MNc, MCc e MN).

Elemento			Média	Desv.Pad.	Mediana	Máximo	Mínimo	n
Metapelitos	SiO <sub>2</sub>	wt %	61,85	13,38	63,33	82,95	11,82	38
			67,09	5,52	68,81	78,00	56,64	16
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		14,90	5,06	14,86	26,74	2,28	37
			16,17	2,26	16,04	20,21	13,09	16
	FeO		4,97	2,18	5,05	10,99	1,60	38
			7,34	2,67	7,16	16,38	3,29	16
	K <sub>2</sub> O		2,86	1,54	2,51	7,33	0,83	36
			3,09	1,23	3,44	4,42	0,31	16
	MgO		2,79	2,81	1,95	14,82	0,45	30
			2,74	0,59	2,66	3,78	1,77	16
	MnO		0,22	0,26	0,11	1,08	0,01	38
			0,30	0,34	0,12	1,00	0,01	16
	CaO		0,69	0,94	0,42	4,37	0,04	22
			1,10	1,03	0,54	2,50	0,09	16
	TiO <sub>2</sub>		0,66	0,26	0,64	1,62	0,09	37
			0,59	0,10	0,59	0,71	0,37	16
	Zr	ppm	167,26	155,96	120,00	751,00	7,00	37
			149,14	88,05	123,40	470,20	104,40	16
	7681,12		20994,18	930,00	116687,00	109,00	37	
	432,99		1310,20	0,03	5132,00	0,01	16	
	100,10		56,37	84,83	288,00	27,00	38	
	117,59		41,62	111,25	244,90	48,50	16	
	55,08		76,71	23,00	307,00	5,67	33	
	68,43		102,86	43,55	439,20	12,80	16	
	53,20		52,51	36,50	238,00	8,67	36	
	116,09		317,08	28,40	1300,30	9,20	16	
	57,14		99,72	29,00	550,00	3,67	29	
	49,74		53,17	29,50	148,80	3,50	10	
	90,49		74,44	74,50	426,00	17,67	36	
	69,24		23,14	69,10	98,10	19,50	16	

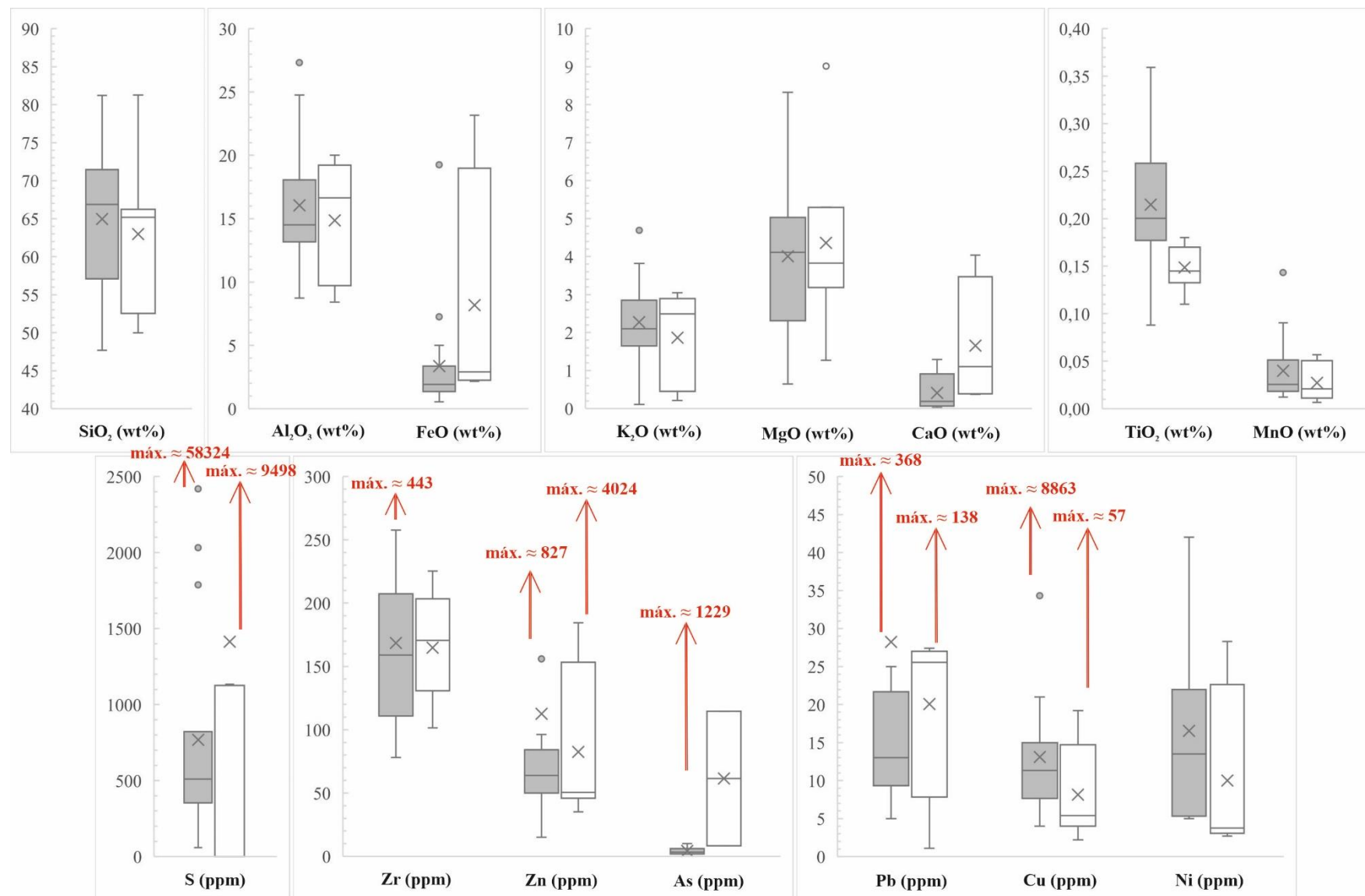
FRX-P

FRX

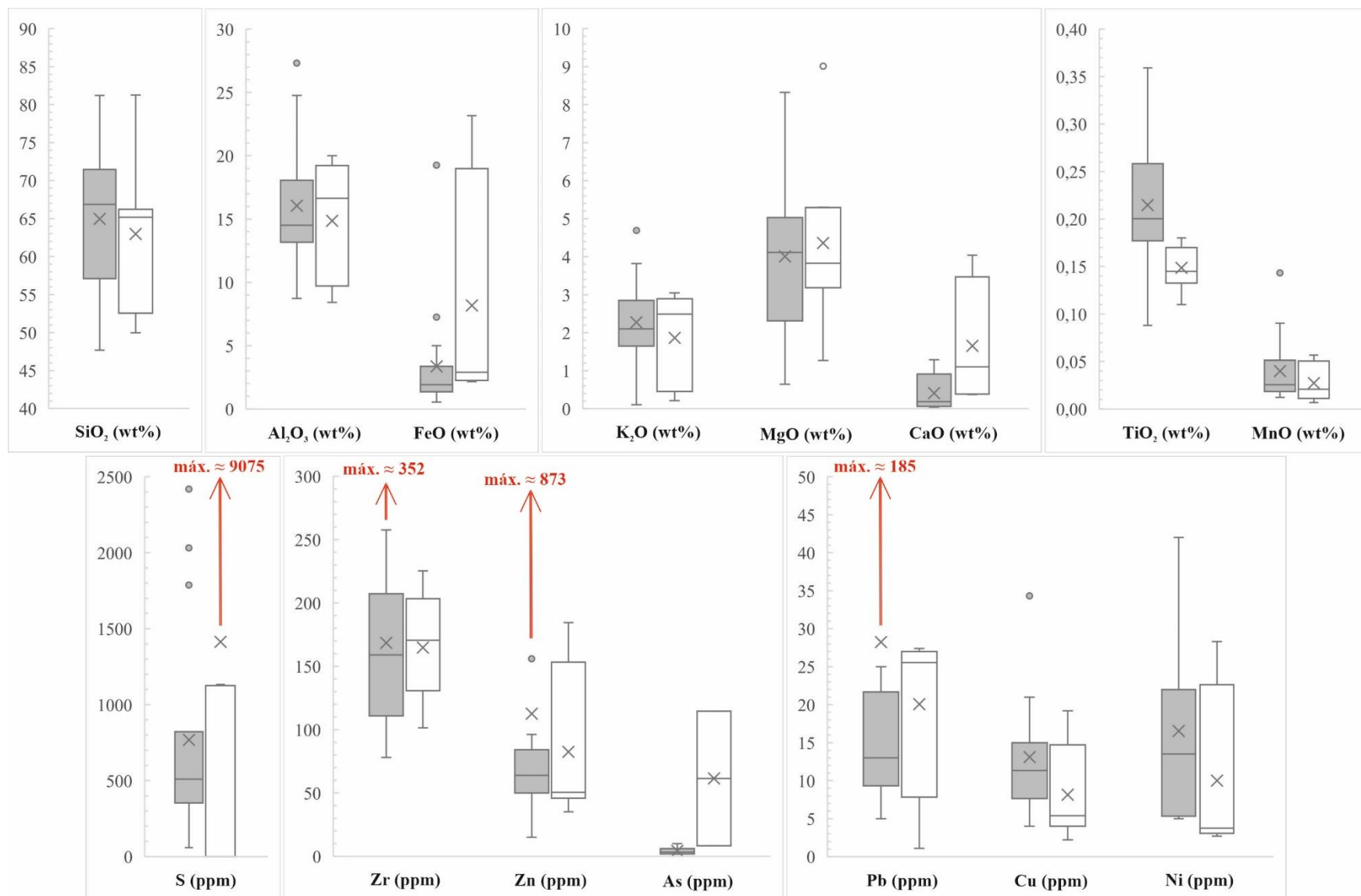


**Figura XI.5** – Estudo comparativo dos resultados obtidos com FRX-P e FXR para diferentes elementos referentes a análises representativas da fácies “química” RA. Os valores e setas a vermelho pretendem indicar a presença de análises (maioritariamente *outliers*) que, para facilitar a visualização dos dados, não foram incluídos nos respectivos gráficos.

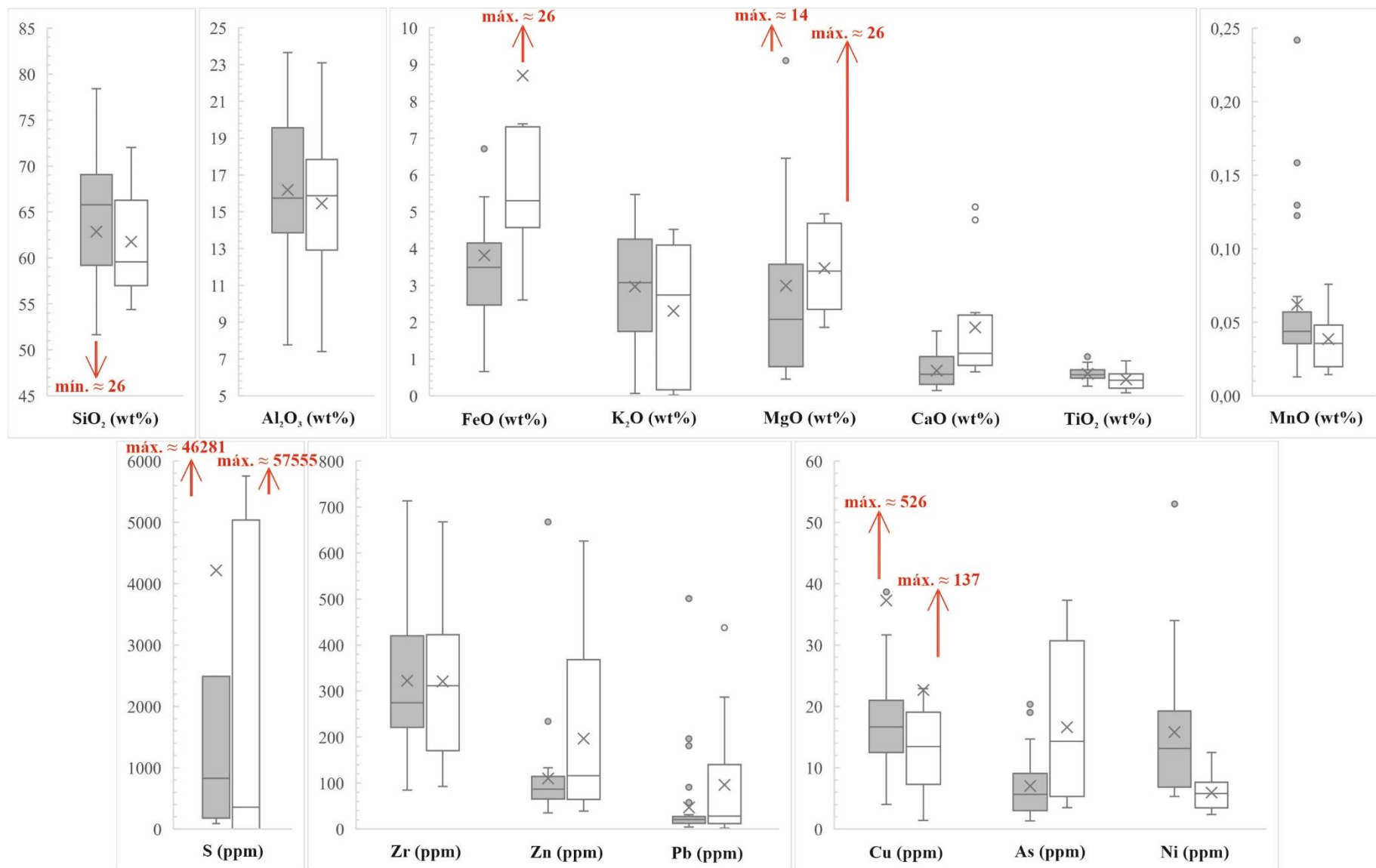




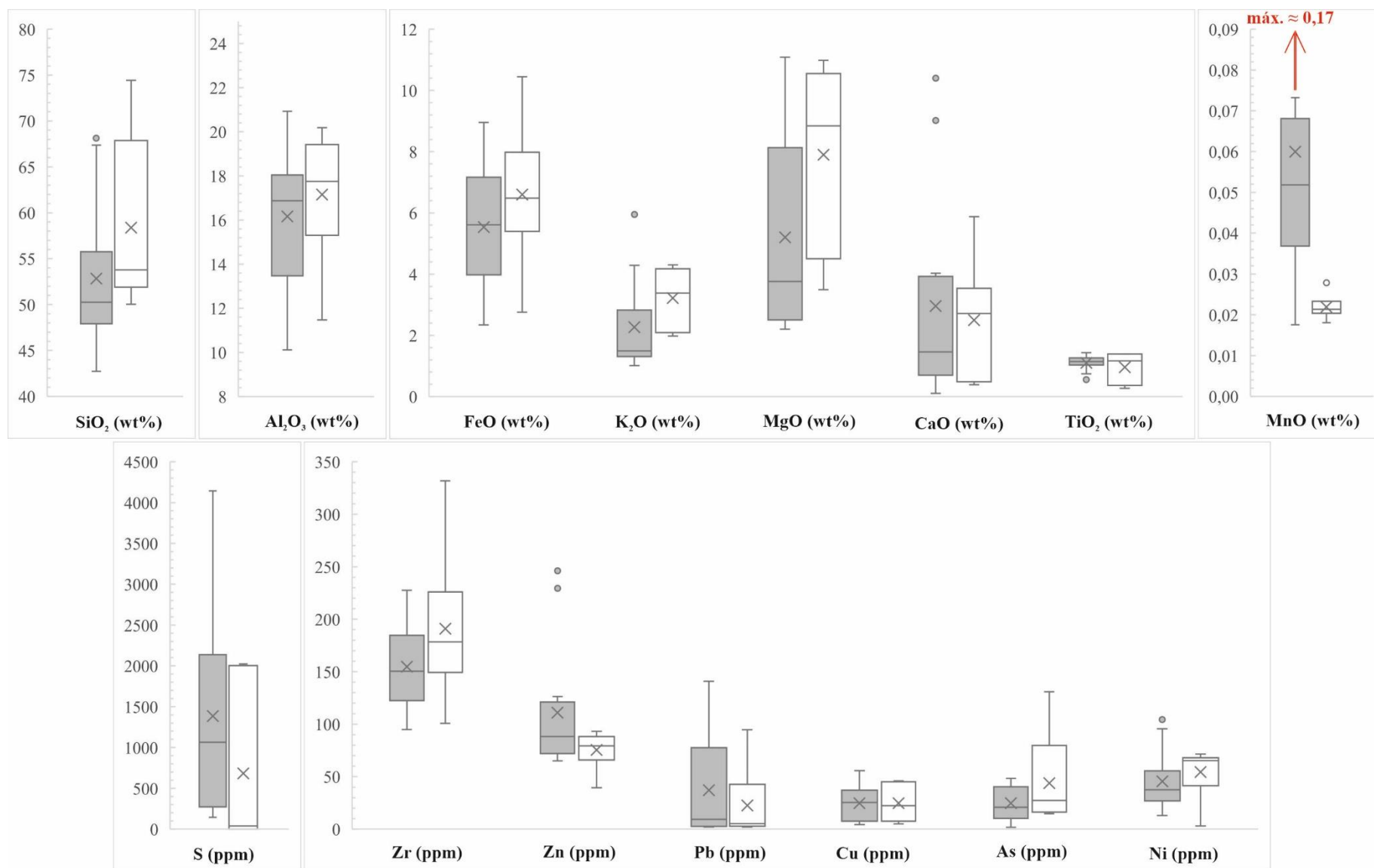
**Figura XL.6** – Estudo comparativo dos resultados obtidos com FRX-P e FXR para diferentes elementos referentes a análises representativas da fácies “química” RB. Os valores e setas a vermelho pretendem indicar a presença de análises (maioritariamente *outliers*) que, para facilitar a visualização dos dados, não foram incluídos nos respectivos gráficos.



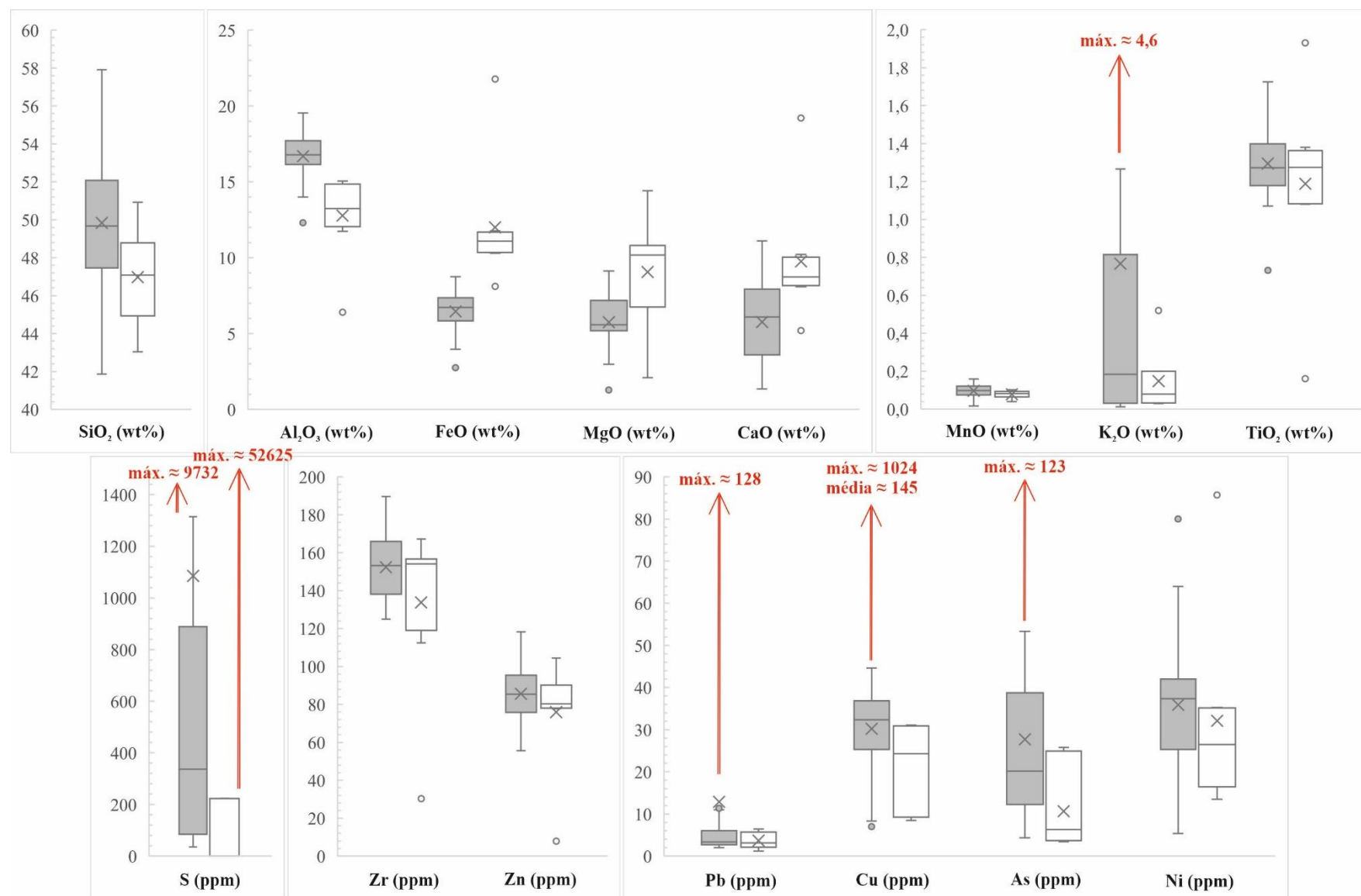
**Figura XI.7** – Estudo comparativo dos resultados obtidos com FRX-P e FXR para diferentes elementos referentes a análises representativas da fácies “química” RC. Os valores e setas a vermelho pretendem indicar a presença de análises (maioritariamente *outliers*) que, para facilitar a visualização dos dados, não foram incluídos nos respectivos gráficos.



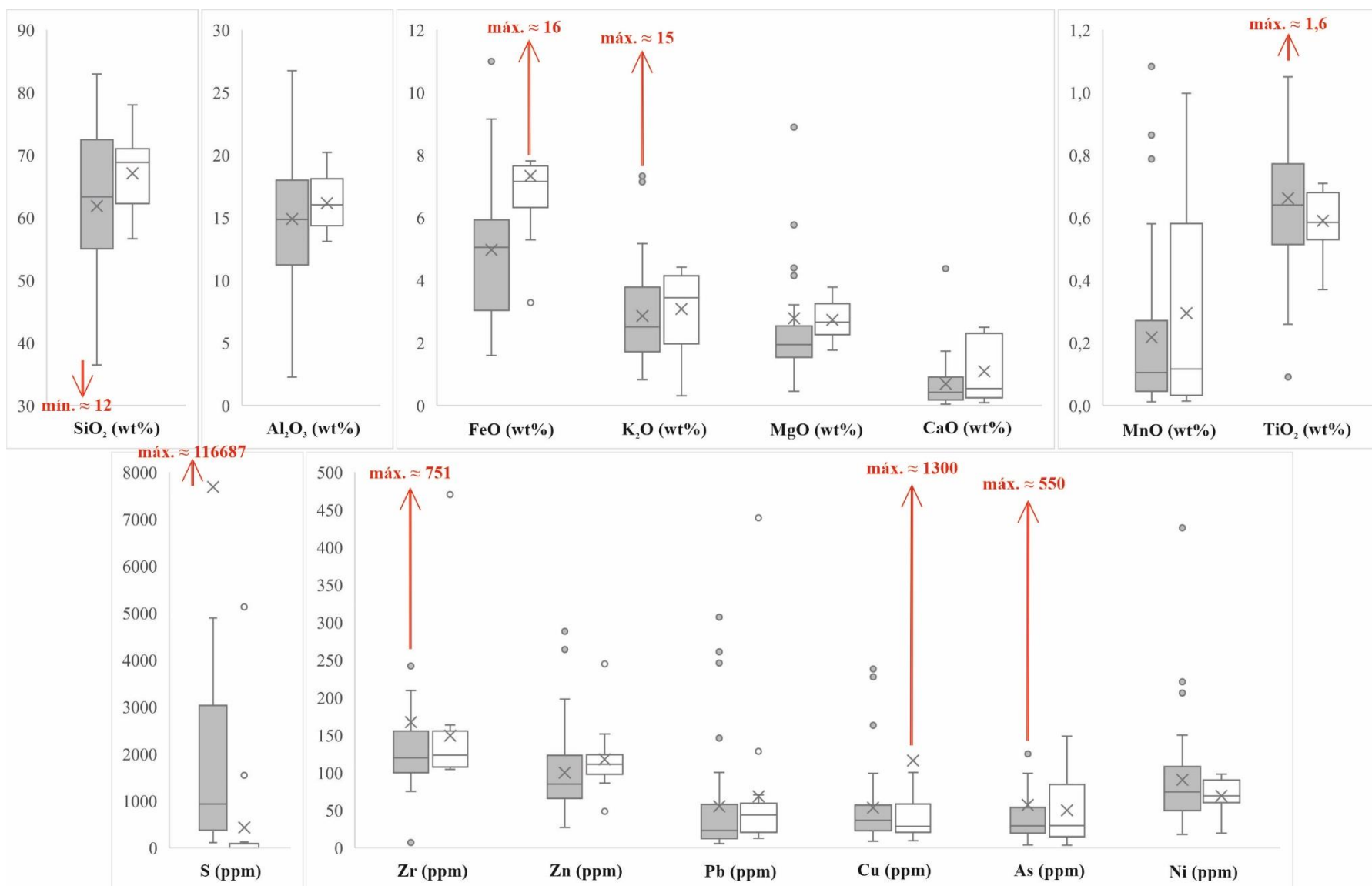
**Figura XI.8** – Estudo comparativo dos resultados obtidos com FRX-P e FXR para diferentes elementos referentes a análises representativas da fácies “química” qfR. Os valores e setas a vermelho pretendem indicar a presença de análises (maioritariamente *outliers*) que, para facilitar a visualização dos dados, não foram incluídos nos respectivos gráficos.



**Figura XI.9** – Estudo comparativo dos resultados obtidos com FRX-P e FXR para diferentes elementos referentes a análises representativas da fácies “química” RI. Os valores e setas a vermelho pretendem indicar a presença de análises (maioritariamente *outliers*) que, para facilitar a visualização dos dados, não foram incluídos nos respectivos gráficos.



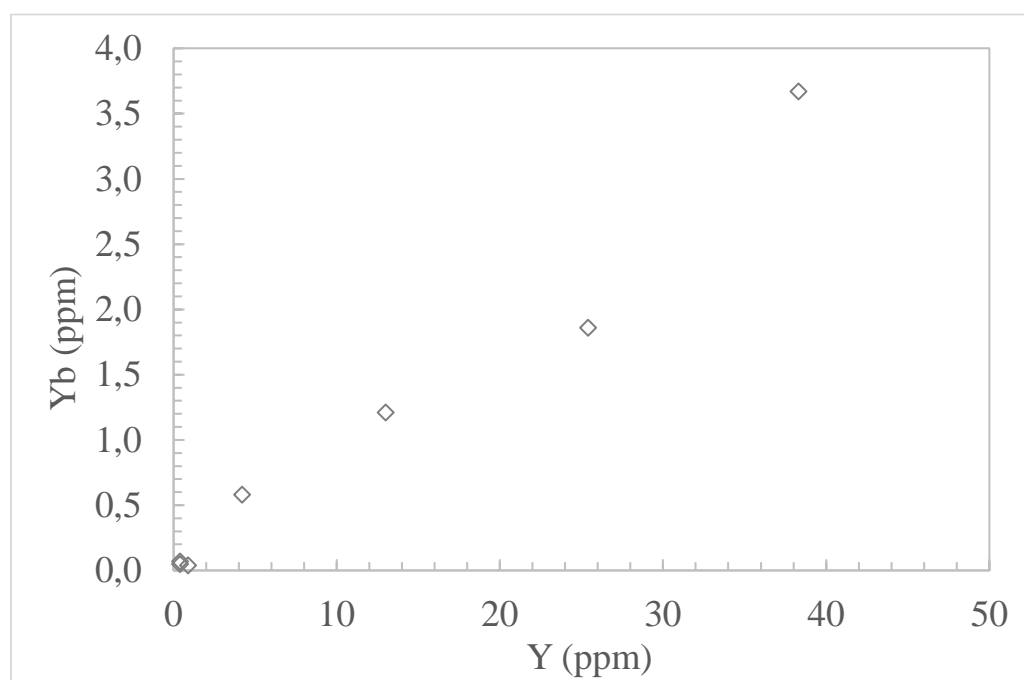
**Figura XL.10** – Estudo comparativo dos resultados obtidos com FRX-P e FXR para diferentes elementos referentes a análises representativas da fácies “química” I. Os valores e setas a vermelho pretendem indicar a presença de análises (maioritariamente *outliers*) que, para facilitar a visualização dos dados, não foram incluídos nos respectivos gráficos.



**Figura XL.11** – Estudo comparativo dos resultados obtidos com FRX-P e FXR para diferentes elementos referentes a análises representativas de fácies metapelíticas (do tipo MVc, MBc, MNc, MCc e MN). Os valores e setas a vermelho pretendem indicar a presença de análises (maioritariamente *outliers*) que, para facilitar a visualização dos dados, não foram incluídos nos respectivos gráficos.



#### *XI.3.4. Teste à imobilidade (minérios)*



**Figura XI.12** – Projecção Yb vs. Y para a totalidade das análises de minérios (semi-)maciços, de forma a testar a imobilidade dos elementos.